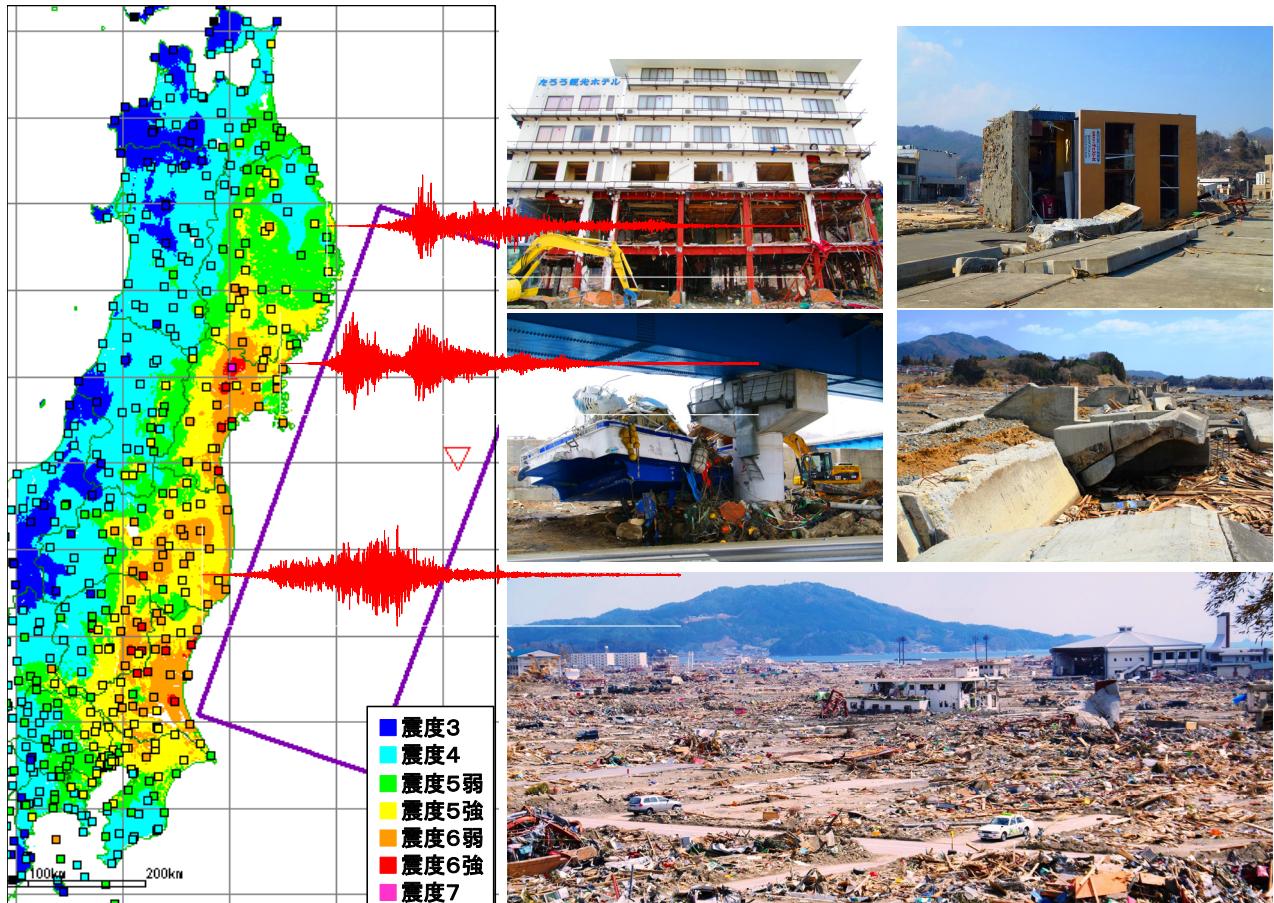


東日本大震災 被害調査報告



平成 23年 6月



株式会社エイト日本技術開発
Eight-Japan Engineering Consultants Inc.

当社の活動が新聞記事に取り上げられました。

建設通信新聞 2011年(平成23年)6月1日(水)

エイト日本技術開発は、3月11日の地震発生直後に設置した震災対策本部を解散、6月1日付で震災対策・復興企画部を発足させ、復旧・復興に軸足を移す。磯山龍一取締役常務執行役員総合企画本部長は、「東日本大震災の復興を支援することとともに、ここで経験を西日本の地震、津波対策に生かすため提案していく」と支援室設置の狙いを説明する。

震災後に東北、関東の被災状況を独自に調査、26チーム延べ262人が現地に行つた。将来のことを考えてチークにはできるだけ若手技術者を加え、現場を目撃させた。調査結果の一部をホームページに掲載しているが、今月3日、テレビ会議システムを使って全社に報告、情報の共有化をする。

震災からの新生

コンサルの貢献

- 1 -

エイト日本技術開発

E・J 総力挙げて支援協力

中長期の視点から —新ごみ処理提案も

国土交通省や地方自治体から要請を受けた下水道、橋梁の点検など緊急対応は5月19日現在、東北18件、関東7



富古市の集積場でヘドロをサンプリング中の計25件となっている。復興にはさまざまな技術、分野で貢献する用意があるが、この中でも特に都市計画、廃棄物処理を挙げる。

廃棄物処理は同社得意分野の一つである。がれき処理が大きな課題になると判断、4月中旬に岩手、宮城両県の市町を広範囲に調査した。仮置き場などがれきの集積場所やヘドロの実態を調べた。不燃物やヘドロの処理、最終処分について提案することとともに、中期的な視点に立った新ごみ処理システムも企画提案する方針だ。

防災公園は從来から力を入れているが、新たに津波対策緑地も提案する。平常時は市民のための緑地として利用、震災時は津波避難場所に使い避難活動を支援する。

一方、同社は災害リスク低減を重点事業分野の一つに位置付けている。

東京ガス管内の約4000カ所に地震計を設置、大きな揺れが起きた場合はガスの供給を瞬時に停止、事故を未然に防ぐ。2000年ころから供用しているが、今回の地震で初めて稼働した。

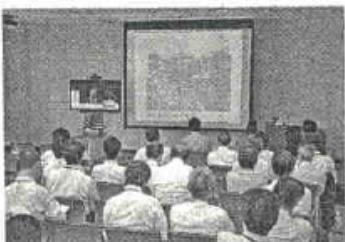
東京ガスの社内向け防災システムで提案した被害状況や災害対策本部の対応状況が把握できる「災害情報システム」とともに、中小規模のガス会社に今後導入を働きかける。

阪神大震災では区画整理、団地造成を手掛けたほか、1995年には同震災を教訓にした東京都都市復興マニュアルも作成した実績がある。「今回の復興計画はまち全体をつくり直さないといけない。総合力が必要で、全社、全技術を挙げて支援に協力したい」（磯山本部長）。近代設計などE・Jホールディングスのグループ会社だけではなく、協力会社も動員する方針だ。

山陽新聞

2011年6月4日(土曜日)

会
イト日本技術開発が社内
向に行つた震災調査報告



被災地の被害
社内で調査報告
エイト日本技術開発
建設コンサルタント

河川・港湾や保全・
耐震・防災など各部の
担当者が、津波による
橋桁の落下や河川堤防
の崩壊、広範囲に及ん
だ浸水被害状況を説
明。津波に備えたまち
づくりの必要性なども
報告された。

同社は震災直後から
現地入りし、主に下水
道や橋の被害を調査し
てきた。今後は都市計
画策定の支援なども行
う予定という。

(重成啓子)

のエイト日本技術開発
(岡山市北区津島京町)
は3日、東日本大震災
の被災地で各事業部が
行つてきた被害調査結
果を発表する社内報告
会を本社などで開いた。

独自のアイデアを盛
り込んだ復興計画を打
ち出すため、全社で情
報を共有する狙い。グ
ループ4社の全従業員
を対象に、岡山、東京
など計20会場をテレビ
会議システムで結んで
実施した。

独自のアイデアを盛
り込んだ復興計画を打
ち出すため、全社で情
報を共有する狙い。グ
ループ4社の全従業員
を対象に、岡山、東京
など計20会場をテレビ
会議システムで結んで
実施した。

日刊建設工業新聞

2011年(平成23年)6月6日(月)



グルーピング
復興取り組み
エイト日本技術開発
震災被害調査報告会
3日、東京都中野区の本
社で東日本大震災の被害

調査報告会を開いた。同
社が独自に調査した被災
状況調査の報告会で、東
京本社をメイン会場に、
岡山、札幌、東北といっ
た各支社にもサテライト
会場を設けた。また、グ
ループの近代設計も札幌
と東京、大阪で報告会を
中継した。

冒頭、小谷裕司社長が
「今回の調査は単なる被
災状況の調査でなく、将
來の復興提案に役立つも
のでなければならない」
と参加した社員に訴え、
震災復興にグループ挙げ

て取り組む姿勢を強調し
た。報告会では、磯山龍二
取締役が大震災への対応
を総括。続いて、佐伯光
昭副社長が「東日本大震
災がもたらしたもの——被
害の特徴、教訓と今後の
対処方策」をテーマに講
演した。この後、河川・
港湾、道路・橋梁、都
市施設といった分野ごと
に被害状況の調査報告を行
った。最後に、復興を
テーマに東北支社の岩本
方克副支社長が講演、報
告会を締めくくった。

建設通信新聞

2011年(平成23年)6月6日(月)



東京会場

佐伯光昭副社長が被害の特
徴や教訓などを説明したあ
と、現地を調査した担当者が
それぞれの被害状況を報告し
た。佐伯光昭副社長が被害の特
徴や教訓などを説明したあ
と、現地を調査した担当者が
それぞれの被害状況を報告し
た。

独自のアイデア提言
エイト日本技術開発は3
日、東京都中野区の東京本社
で、東日本大震災被害調査報
告会を開いた。

小谷裕司社長は、阪神大震
災との相違点として被害が広
範囲、厳しい財政下での復興、
情報通信網が発達している中
での復興の3点を指摘、「報
告会は単に調査報告だけな
く、復興に向けた当社独自の
アイデアを提言できる機会に
したい」とあいさつした。

報告会は支社・支店だけで
なく、近代設計などグループ
会社にもテレビ会議システム
を使って中継した。

目 次

■ 東日本大震災被害調査報告書の発刊に向けて	001
小谷裕司（代表取締役社長）	
■ エイト日本技術開発の震災対応	003
磯山龍二（災害対策本部副本部長（当時））	
■ 東日本大震災がもたらしたもの 一被害の特徴・教訓と今後の対処方策一	006
佐伯光昭（災害対策本部長（当時））	
■ 東北地方太平洋沖地震の概要（地震と地震動）	026
末富岩雄（東京支社 保全・耐震・防災部）	
福島康宏	
■ 河川・港湾の被害	
1) 港湾・海岸の被害と対策の進め方	032
2) 河川・砂防施設の被害と山火事	036
3) 阿武隈川・鳴瀬川・北上川の被害	040
4) 河川構造物(コンクリート構造)の被害	046
5) 岩手・宮城・福島県内のダムの被害	050
黒田修一・藤田亮一・藤本哲生・福島康宏・見掛礼一郎	
■ 道路・橋梁の被害	
1) 岩手三陸地区の橋梁の被害	061
2) 宮城県内（国道45号線沿い）の橋梁の被害	067
3) 福島県北部沿岸部の橋梁の被害	072
4) 茨城県の橋梁の被害	076
古閑徹也	
■ 都市施設の被害	
1) 津波からの避難	080
2) 宅地造成地盤の被害	086
3) 下水道施設・管路の被害	089
4) 公園緑地等の被害と津波対策緑地の提案	093
5) ガレキ処理の現状と今後の課題	099
■ 復旧・復興に向けて	
1) 津波被災市街地の状況と都市復興のあり方	104
中世古篤之（グローカルビジネス本部）	
大塚正治・今林周次・藤田民雄・林勝正	
島遵・田辺晋・松島進他	
2) 広域液状化被害を防ぐ	108
3) 下水道機能の回復を早めるために	114
■ 6/3 被害調査報告会より「巨大津波と広域液状化からの復興に向けて」	
○趣旨説明	117
○特別講演：防災（津波・高潮災害）と計算工学～高品質計算(HQC)を目指して～	118
○まとめ	121
○今後の復旧・復興への取り組み方	122
■ 資料	
○東北・関東大震災の復旧・復興の協力・支援に関する対処方針について	123
○改めて社会資本整備とその「無駄」を考える 一防災・減災の立場から一	

【 表紙の写真 】

地図：防災科学技術研究所の K-NET データより作成した計測震度分布と波形

写真（左上）：岩手県宮古市田老「たろう観光ホテル」

写真（左中）：岩手県宮古市「45 号線の橋脚（下は 106 号線）」

写真（右上）：宮城県牡鹿郡女川町「3 階建て直接基礎のビル」

写真（右中）：岩手県陸前高田市「高田松原の防波堤」

写真（下）：岩手県陸前高田市「市街地（右手八角形の建物は市民体育館）」

東日本大震災被害調査報告書の発刊に向けて

平成23年3月11日14時46分、宮城県牡鹿半島沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録するとともに、1900年以降に世界で発生した地震の中では、チリ地震(1960年M9.5)、アラスカ地震(1964年M9.2)、スマトラ沖地震(2004年M9.1)に次ぐ4番目の規模となりました。波高10m以上、最大遡上高40m以上にものぼる大津波が発生し、東北地方から北関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらすとともに、地震の揺れや液状化現象、地盤沈下、ダムの決壊などによって、北海道・東北・関東の広大な範囲で被害が発生し、各種ライフラインも寸断されました。死者・行方不明者は約24,000人にものぼり、直接的な被害額は25兆円以上とも試算され、未曾有の大災害となりました。ここに、東日本大震災でお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

弊社におきましては、地震発生から1時間も経ずして佐伯副社長を本部長とする災害対策本部を東京本社に設置するとともに、東北支社・東京支社を現地本部とし、職員の安否確認、被害状況把握並びに復旧支援を展開して参りました。現地におきましては、震災直後から、市町村からの下水施設被害調査・災害査定設計の依頼をはじめ、国・県等との災害協定関連協会から、道路災害調査支援や橋梁点検、海岸施設被災調査、漁港・港湾施設被災調査支援依頼があり、弊社並びにEJグループ傘下各社の協力を得ながら復旧支援に努めて参りました。関係各位の皆様には改めて感謝申し上げます。

この東日本大震災は、地震の規模が超巨大であったことに加え、阪神淡路大震災と比較して、大きく様相を異にする3つの点が挙げられると思います。

1つは、被害地域の広域性です。

直接的な被災地が複数県にまたがり広域であり、防災体制においても、地方と中央の縦の連携だけでなく、地方自治体間の横の連携を強化するなど見直しが必要であると思われます。そのほか、被災地各県に立地する企業やエネルギー施設の被災により、日本全国や海外の企業活動・生産網並びに国民生活に甚大な影響が及んでいます。

また2つ目は、厳しい財政下での復興です。

被害の規模が極めて大きく、直接的な被害に限っても25兆円以上と阪神淡路大震災の3倍程度が想定され、供給網を通じた諸産業への影響や放射能問題、電力供給のひっ迫を通じた影響などを加えるとその額は甚大です。国債残高が大きく、復興財源の確保が容易でない状況下での復興であること、また、人口の高齢化や限界集落が多い地域の復興であることなど社会的環境が大きく異なっています。

3つ目は、情報通信技術の活用の大きな可能性です。

阪神淡路大震災当時は、インターネット元年と呼ばれる頃であり、携帯電話も十分普及していなかったが、現在は、ツイッターや動画配信など新たなコミュニケーション手段が普及した状況下にあります。新しいまちづくりや災害に強いまちづくりなどを計画する上で、情報通信技術を最大限活用することが重要です。

この大震災は、わが国の防災体制、危機管理、社会资本整備のあり方等に根源的な問いを投げかけています。今までの常識をはるかに超えた大災害を発生させ、過去の大震災との様相の違いも踏まえ、この現状とどう向き合い、そして、どう乗り越えていくか、様々な問題が我々にも課せられています。

弊社におきましては、被災地復旧支援に努めるとともに、各事業部を中心に当社独自のインフラ施設の被害調査を実施するとともに、復興対策に向けた技術的な提案を行って参りました。震災からの単なる復旧ではなく、長期的観点に立った「地域社会の再生」のみならず、「新たなる国土づくりの視点の確立」が求められており、当社の今後の展開に向けた重要な役割として取り組んでいく必要があります。

去る6月3日の「東日本大震災 被害調査報告会」は、多くの方々に被災状況の把握を行っていただきとともに、今後の諸施設の防災やまちの復興業務に向けたアイディア等を頂き、EJ グループとして、今なにをすべきか、課題と展望を提示し「新たな国土づくり」に向けた英知の結集の必要性を発信できたと思います。そして本日、それを報告書にまとめることができました。

ここにある報告は、震災後26回、延べ262人日の弊社の専門家が自主調査した貴重な記録と意見であります。現地に行った技術者は、私たちコンサルタントが計画・設計・補強などを行ってきた構造物やまちの惨状を目の前にし、自然の力の凄まじさとマニュアルエンジニアであってはならぬことを改めて心に刻みつけたことと思います。その思いを忘れることなく、本当に安全で安心なまちづくりや国土の形成の実現に向かって、自己研鑽と質の高い業務成果に取り組んで参りたいと考えております。

この報告書が、その契機になりますことを祈念するとともに、今後とも、関係各位のご理解とご支援ご協力を願い申し上げ、発刊に向けての挨拶とさせていただきます。

平成23年6月20日
代表取締役社長 小谷裕司

エイト日本技術開発の震災対応

株式会社エイト日本技術開発

災害対策本部副本部長

現 取締役常務執行役員

磯山龍二

1. 地震発生

2011年（平成23年）3月11日（金）岡山本店にて役員会議中の14:46分、磯山の携帯に緊急地震速報が入った（当社独自のシステムで一定規模・震度以上の地震があると主要なメンバーに配信）。宮城県でM7以上の地震が発生、とっさに「想定宮城県沖地震」と思った。ところが次々と入るメールではどんどんマグニチュードが大きくなってくる。そして、岡山でもゆっくりとした揺れが始まった。これは大変な事態になっているテレビをつけると大津波警報、さらに続々と津波に呑まれる町の映像などが映し出された。

会議は即座に災害対策本部会議に移行、災害対策要領などに基づき、役割分担、今後の対応などを決めた。東北支社長、東京在住の役員もその日は移動できず、翌日、土曜の午後、東京本社で第2回の災害対策本部会議を開催、ここで、東北支社長を仙台に帰すとともに東北支社への救援隊を翌日日曜に送り込むことを決定、手分けしてすぐに買出しに走った。ただし、前日の帰宅困難の影響を受けてか、毛布、水、食料など調達にはだいぶ苦労したようである。

2. 災害対応組織

3月12日には今回の震災対応組織を決定した（図1）。この組織は災害対策要領などをベースにしているが、今回の震災の規模、広域性に応じて柔軟に決定したものである。

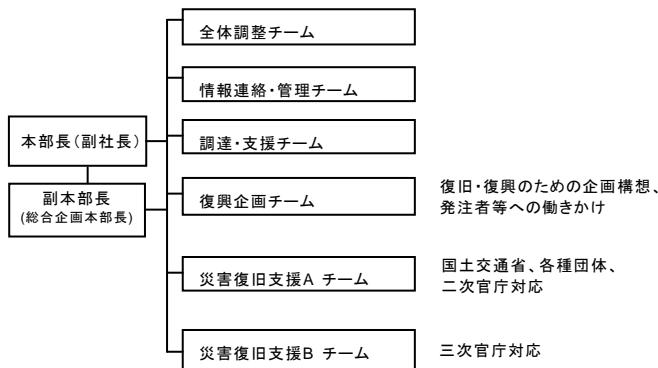


図1 災害対策本部組織

3. 災害対応組織

災害対策本部組織の立ち上げとともに、東北支社救援、建設コンサルタント協会との連絡、調整、応援要請の受理、被害調査など様々な活動が土曜から一斉に開始されたがこの中で、3月14日には社長のメッセージ、16日には災害対策本部長の対処方針が示され、以降、この方針に基づく対応がなされた。対処方針の概要を以下に示す。

(1) グループ企業への支援活動の展開

被災地域におけるEJECおよび近代設計の東北支社における就労環境に対する手当て

(2) 国交省等と業界団体との間で締結されている災害対応協定への協力

(社)建設コンサルタント協会東北支部並びに関東支部等の業界団体が発注機関と締結している協定に基づいて、復旧支援活動に積極的に参加協力

(3) 被災地域への復旧・復興支援への働きかけ

津波の襲来により壊滅的な被害を受けた地方公共団体への積極的な復旧・復興支援の働きかけ

(4) 今後の巨大地震災害への取組

グループ内部の課題として、今回のマグニチュードM9.0の巨大地震の発生による被害状況や当社のその直後の対応で明らかになった問題点や課題、対処方策などを学習し、今後発生が予想される「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下型地震」の震前対策への事業展開に反映させる

(5) 関連学会活動への積極的な参画

4. 緊急対応業務

緊急の調査などの要請は3月15日から入り始め、3月中には16件の要請を受け付けている。市町から直接の要請、建設コンサルタント協会を通じての要請など様々であったが、要請を受けたもののほとんどに対応した。対象は下水道、道路、橋梁、海岸、港湾など多岐に渡り、内容的には調査から災害査定まで一貫して行う業務が多く、全国から技術者を現地に派遣することはもちろんグループ会社を総動員してこれら業務に対応した。

結果的には28件の要請に対して27件について対応を行った。また、この報告の執筆時点（6/9）において多くの業務に対応中である。



災害査定設計へ向けた下水管路の調査の様子

5. 被害調査

災害対策本部長の対処方針にあるように、まずはこの震災の状況を把握するため、地震発生の翌日から調査活動が始まった。仙台周辺はもちろんであるが、関東においても、社員は休日なども利用して千葉県湾岸地域、茨城県太平洋沿岸、横浜などの調査を行っている。また、東北の太平洋沿岸地域についても、発注者要請による調査は別として、4月初めから構造、河川、港湾、ライフライン、地質・地盤、都市計画、防災などの専門家チームが順次現地に入り独自の調査を行った。

会社として公式記録されている調査は26回、延べ262人日に及んだ。調査チーム編成に当たっては、ベテランに必ず若手を配することとし、特に若手技術者にこの被害状況を見させることに配慮した。



被害調査の様子 岩手県大槌町にて

6. 情報の共有と発信

社内において情報共有を確実なものとするため、通常業務で用いているノーツの掲示板に加え、インターネットの情報掲示板（通常のブラウザで利用）

を開設した。被害調査結果など様々な情報がこの掲示板により共有された（図2）。また、被害調査結果の一部は当社ホームページに随時掲載され、社外に向けて発信された（図3）。

図2 イントラネットの掲示板

図3 インターネットホームページでの情報公開

7. おわりに

地震発生から3ヶ月が過ぎようとしているが、この原稿執筆時点（6/10）における死者は約1万5千人、行方不明者は約8千500名と戦後最大の被害であることは間違いないが、いまだ被害が定まらない状態である。しかし、現地では復旧、復興に向けた動きがようやく活発化してきている。

当社においても地震直後からの被害調査結果等に基づき、社内で様々な復旧、復興の企画、構想を練ってきたが、5月末に国土交通省都市・地域整備局の復興へ向けたプロポーザル（40件が同時に提出された）に2件の特定を受けた（宮古・山田の被害調査、山田の復興パターン調査）。現在、現地事務所の設置、予備的な調査など社内体制を整えつつ本格的な活動へ向けての準備作業を行っている。

この未曾有の災害に対して当社として今後とも復興へ向けて知恵と体力を振り絞って最大限の努力をしていく所存である。

付表 当社の被害調査地域一覧

県	市町村	避難所・役場	防災公園	市街地	液状化	造成地・自然斜面	港湾・海岸	河川構造物	砂防	ダム・調整池	橋梁	上下水道施設・管路	廃棄物
青森県	八戸市						●						●
岩手県	宮古市	●		●			●	●	●		●	●	●
	山田町	●		●			●	●	●		●	●	●
	花巻市		●							●			
	遠野市		●										
	大槌町	●	●	●			●	●	●		●	●	●
	釜石市	●	●	●			●	●		●	●	●	●
	奥州市				●								
	大船渡市	●		●			●			●	●	●	●
	陸前高田市	●		●			●			●			●
	栗原市				●					●		●	
宮城県	気仙沼市	●		●			●				●		●
	登米市										●		
	南三陸町	●		●			●	●			●		●
	女川町	●		●			●						●
	石巻市	●		●	●		●				●	●	●
	東松島市	●		●			●				●	●	●
	塙町						●					●	●
	多賀城市						●					●	●
	柴田郡									●			
	仙台市若林区			●							●		
	仙台市太白区			●		●							
	仙台市泉区			●							●		
	仙台市青葉区			●		●				●			
	仙台市宮城野区				●						●	●	
	名取市	●		●			●	●		●	●		●
	岩沼市						●	●				●	●
	柴田町			●	●							●	
	白石市			●	●	●						●	
	亘理町						●	●			●		●
	山元町												●
福島県	福島市					●				●			
	相馬郡										●	●	
	相馬市						●				●		
	二本松市										●		
	田村郡										●		
	大玉村										●		
	郡山市			●							●		
	須賀川市	●									●		
	岩瀬郡										●		
	石川郡										●		
	白河市					●				●			●
	西白河郡									●			
茨城県	いわき市			●			●						
	北茨城市						●						
	常陸太田市										●		
	ひたちなか市								●		●		
	那珂市										●		
	土浦市			●	●								
	つくば市			●							●		
	稲敷市					●			●		●		
	取手市							●					
	行方市	●									●		
	潮来市			●	●						●	●	
	鹿嶋市			●	●		●	●			●	●	
	神栖市			●	●							●	
千葉県	香取市			●	●			●			●		
	船橋市			●	●								
	習志野市				●			●			●	●	
	浦安市			●	●		●	●			●	●	
	佐倉市										●		
	千葉市			●	●			●				●	
	東京都	中央区									●		
神奈川県	横浜市				●								

東日本大震災がもたらしたもの

- 被害の特徴・教訓と今後の対処方策 -

株式会社エイト日本技術開発
取締役 震災対策・復興企画統括
佐伯 光昭

1. まえがき

平成23年3月11日(金)午後2時46分に牡鹿半島東方沖約130kmを震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュードM9.0とわが国有史以来の最大規模のものであった。死者、行方不明者はおよそ2万3千人を超え、そのほとんどがこの地震により生じた巨大津波によってさらわれて命を落とした方々であった。加えて東京電力福島第一原子力発電所の第1号機~4号機の被害とそれに伴う事故がわが国初めての衝撃的な事態となり、その収束に向けた迅速な対処と周辺地域の住民避難や放射能汚染が深刻な社会問題となっている。

本文では、まず、この地震の特性とそれが原因となった東日本大震災の被災の概況と特徴を整理し、その構造を明らかにして教訓を浮き彫りにする。そして今後のわが国を巡る地震発生の危険性を踏まえた震災対策計画の課題と対処方策を指摘するとともに、この度の大震災で深刻な被災を受けた地域の復興計画や事業展開の基本的な考え方を言及する。

2. 地震及び津波と被害の概況

(1) わが国の地震環境と被害地震の発生状況

改めて地球規模でのわが国の地震環境を考えてみよう。図1¹⁾に示すようにわが国は太平洋、フィリピン海、北米およびユーラシアの4つの表層地殻を構成するプレートが界合する世界でもまれな地球の営力の影響を強く受ける位置にあり、全世界の年間地震エネルギーの約10%が日本周辺に集中するものと考えられている。太平洋プレートやフィリピン海プレートは年間2~3cmの速さで東方や南方から日本列島に向かって押し寄せており、それが北米プレートやユーラシアプレートの上に浮かぶわが国土にストレスを生じさせ、それが世界でも有数の大地震の頻発地域にさせている原因となっているのである。

理科年表²⁾の地震カタログによれば、416年以来、今日まで420回余、わが国のどこかに被害を

もたらした地震が発生している。また、江戸幕府が開かれて以来、約410年の間に350回余の被害地震が生じており、約1年2カ月に1回の割合で国土のどこかで被害を伴う大きな地震が生じていることになる。これら地震の脅威にさらされている以上、国防とならん地震災害の軽減が重要な国家目標でなければならないはずである。

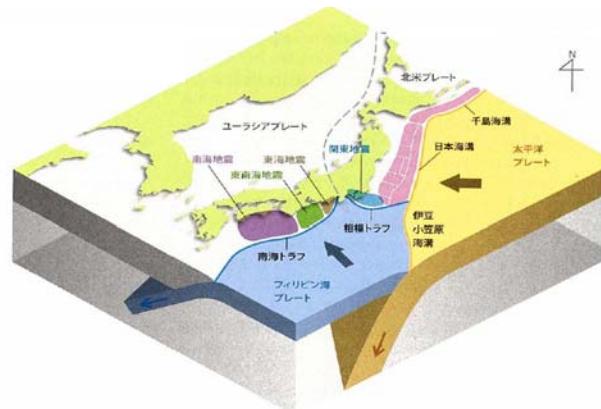


図1 海溝型地震のメカニズム¹⁾

(2) 今回の地震と津波の概要

そのような中で、去る3月11日午後2時46分、図2³⁾に示す宮城県牡鹿半島東方沖のおよそ130km、深さ24kmを震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。三陸沖の日本海溝沿いに北は青森県沖、南は茨城県沖に達する南北450km、東西200kmという広大な震源域を有するわが国有史以来最大のマグニチュード(以下、Mと略記)9.0の巨大地震であった。M9.0級の巨大地震はこの東北地方太平洋沖地震を含めて、表1に示すように世界でこれまで6回しか発生していない。表2には東北地方太平洋沖地震の各地の気象庁震度の概要をまとめておく。震源域での断層のずれは、上記の450×200=9万平方kmの広がりを有する震源域で20~40m程度と考えられている³⁾。ちなみにM7.3の兵庫県南部地震の際には、およそ50kmの活断層にそって、2m程度のずれが生じたこと³⁾と比べると、改めてM9.0の地震エネルギーの大きさに驚かざるをえない。

また、この地震の余震の発生状況を図3⁴⁾に示す。同図にはこれまでの大地震の際の余震についても本震後の累積の発生回数も示した。今回の地震では、これまでになく多くの余震が生じたことがわかる。有史以来、最大規模の地震であったことが余震の数もわが国観測史上、最多となったことを示唆している。

地震動の特性については、最大加速度は宮城県栗原市の観測地点で、水平成分で2,699gal強、鉛直成分で1,879gal⁶⁾であった。地震動の特性で重要なことは、

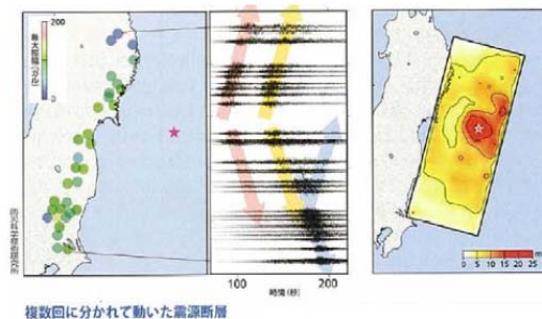
- ① 主要動の継続時間が数分以上と極めて長く、観測地点によっては震度3以上の揺れが3分以上も続いたこと
- ② 主要動の卓越周期が0.2~0.3秒と、これまで大きな災害を生じさせた地震の揺れに比べて短かったこと

の二つであった。図4⁷⁾には、今回の地震動の加速度波形を兵庫県南部地震で記録されたものと比較して示す。あきらかに今回の地震の主要動の継続時間が長く、その繰り返し回数も多いことが見てとれる。このことが、震源域から遠くはなれた茨城県南部や千葉県の東京湾岸地域では、比較的長い周期成分の振幅が減衰しにくいために沖積低地や埋立地に液状化が生じた大きな要因となったのである。また、図5⁷⁾には、地震動の周期特性をあらわす加速度応答スペクトル曲線をこれまで観測された大地震のものと比較して示す。建物や構造物の被害を生じさせやすい周期0.8~1.5秒程度の加速度応答値が兵庫県南部地震等のこれまでのおもな地震の観測記録にくらべて小さくなっていることがわかる。これが津波の影響を受けなかった地域での死者・行方不明者の数、建物や構造物の被害がそれほど著しいものにならなかつた要因と考えられる。

このような地震動の特性のほかに、地震によって生じた現象として大きな地殻変動が生じたことが特徴的である。震源域内の海底では鉛直方向に4~5mの隆起、震源域の西方の陸地に向かって2m程度の沈下、そして陸上では最大1.2mにもおよぶ沈下⁸⁾をもたらした。そのメカニズムは、図6¹⁾に示すように太平洋プレート上面の断層(滑り)面が本土を構成する北米プレートの下にもぐりこむため、その上方の北米プレートがもりあがり隆起する。その反動で西方の陸地側の北米プレートが沈みこむという、いわば北米プレートの褶曲(上下)運動の結果、生じるものと考えられている。この陸地側の沈みこみが津波襲来後の浸水域の拡

大をもたらしたのである。

津波の概況については、図7⁴⁾に各地での津波の高さを示す。北海道から九州沿岸に津波の影響が及んだことがわかる。津波の最大高さは、岩手県大船渡で11.8mに達した。また最大の遡上高さは岩手県宮古市姉吉で40.5m⁹⁾に及び、観測史上最高の1896年の明治三陸津波での同県大船渡市綾里での38.2mを超えていた。これまでにないエネルギーで津波が襲ったことを示している。写真1に宮城県南三陸町の被災状況、写真2に同町災害対策本部屋上からの津波襲来の状況を示す¹⁰⁾。



中央の図は左図の観測地点(緑色の○)でのM9.0の地震の最中の上下動成分の揺れを示す。断層は宮城県沖を起点に(上図中の赤い星印)、2度にわたって南北に向けて動いた(ピンク色と黄色の矢印)。2度目に南方に向かった断層の動きは、福島県沖で新たな断層の動きを誘発し、南北方向に向けて水色の矢印で示すような動きをもたらした。右の図は地震波から求めた震源断層の各場所での移動距離で震源付近とその日本海溝側で大きく動いたことがわかる。

図2 震源の位置と数回に分かれて動いた震源断層³⁾

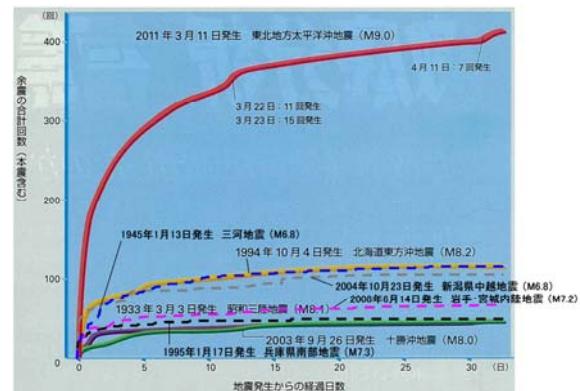


図3 余震の累積発生回数^{4) 5)}

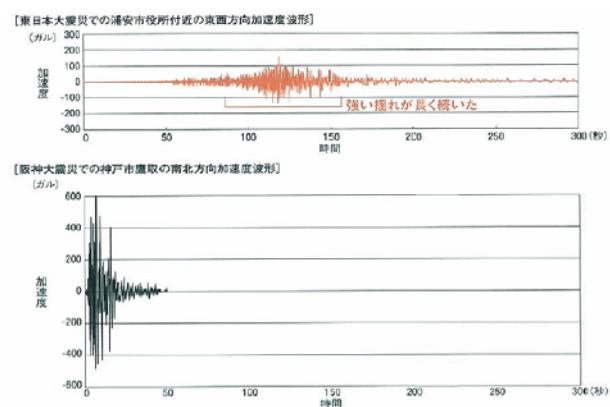


図4 東日本大震災と阪神大震災の加速度波形⁷⁾

■ 加速度応答スペクトル(過去の震度7クラスの地震との比較)

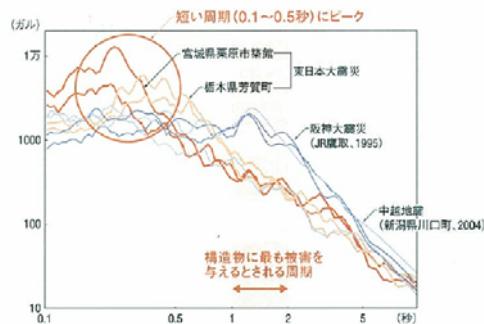
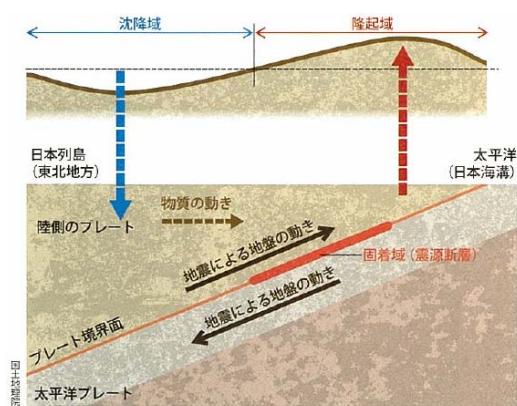
図 5 地震動の加速度応答スペクトル⁹⁾
—既往の地震の記録との比較—図 6 今回の地震によって生じた地殻変動の模式図¹⁾

表 2 今回の地震の諸元と各地の気象庁震度

諸元及び地点	
発生日時	平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分ごろ
震源位置	宮城県牡鹿半島東方 130km、深さ 24km
マグニチュード M	9.0
各地の気象庁	震度
7	宮城県栗原市
6	仙台 宇都宮 日立 水戸 つくば
5	盛岡 秋田 福島 前橋 さいたま 千葉 東京 横浜 甲府
4	釧路 帯広 函館 青森 山形 静岡 長野 新潟 名古屋

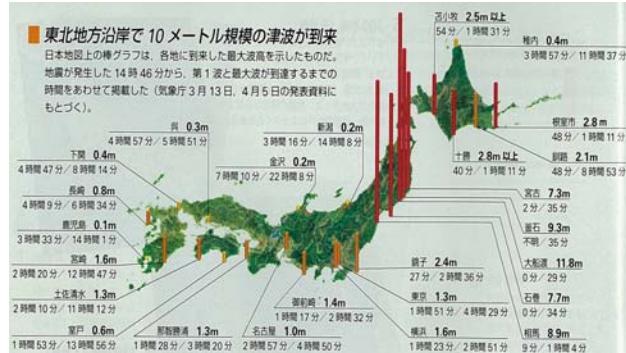
写真 1 南三陸町の津波被災状況
—遠景の建物は町の災害対策本部—図 7 今回の地震で各地に到達した津波高さ⁴⁾

表 1 世界の M9 を超える巨大地震

名称	発生年	マグニチュード M
カムチャツカ地震	1952	9.0
アリューシャン地震	1957	9.1
チリ地震	1960	9.5
アラスカ地震	1964	9.0
スマトラ島沖地震	2004	9.0
東北地方太平洋沖地震	2011	9.0

写真 2 南三陸町災害対策本部屋上での津波襲来状況¹⁰⁾

(3) 被害の概要

表 3¹¹⁾ には今回の大震災の被災状況を、図 8¹²⁾ には電力、上水道及び都市ガスなどライフライン施設の機能支障の程度をあらわす震後の復旧状況をそれぞれ示す。表 4 には参考までに関東大震災、阪神・淡路大震災の状況と比較して整理した結果を示す。また表 5 には今回の津波の被災状況を明治三陸津波以降の昭和三陸津波やチリ地震津波の状況と比較した結果を示す。

表3 東北大震災 被害の概要¹¹⁾ 警察庁 5月24日現在

	人的被害(人)		住家被害(戸)		その他 被害個所数					
	死者	不明者	全半壊	全半焼	浸水	道路	道路橋	斜面	堤防	鉄道
北海道	1	—	—	—	729	—	—	—	—	—
東北	青森	3	1	1,300	—	—	2	—	—	—
	岩手	4,474	2,937	19,768	15	2,101	30	4	6	—
	宮城	9,083	5,300	82,400	119	2,405	1,571	23	51	4
	福島	1,581	477	29,934	80	391	19	3	9	—
関東	その他	2	—	117	—	—	30	—	29	—
	茨城	23	1	10,477	37	1,861	307	41	—	—
	千葉	19	2	3,422	5	1,697	1,573	—	45	—
	その他	16	—	1,980	5	1	437	—	47	—
その他地域	—	—	—	—	36	1	—	—	—	—
合計	15,202	8,718	149,398	261	9,221	3,970	71	187	4	26

表4 これまでのわが国の主な地震災害との比較

	関東大震災 1923.9.1	阪神・淡路大震災 1995.1.17	東日本大震災 2011.3.11
マグニチュード	7.9	7.3	9.0
震源	相模湾～房総半島 プレート境界	淡路島 プレート内直下型	日本海溝沿い プレート境界
死者・行方不明	10万5千余人	6,437人	23,982人(5月22日)
住家被害 全・半壊	21万1千余戸	24万9千余戸	14万8千余戸(5月22日)
主な被害の範囲	東京、千葉、茨城、 埼玉、神奈川、静岡	神戸、芦屋、西宮、 尼崎、宝塚、明石の各市	青森、岩手、宮城、福島、茨城、 千葉、東京
火災	東京下町、横浜で甚大 焼死者多数	神戸市内で発生	津波浸水地域で発生
被 傷 状 況	津波	相模湾沿岸甚大	発生せず
土木構造物 の被災の特徴	落橋や河川堤防の被災 が顕著。日本橋等アーチ橋の被災が極めて少 なかった	既存不適格の構造物、特 に橋や高架で顕著	海岸堤防、防潮堤の被害甚大。 津波の海上による橋脚の落下や 河川堤防の崩落が顕著。地震動 による構造被害は比較的少ない
その他特記事項	余震 多発 被害額は当 時のGDPの4割超の55～ 65億円と推定	余震 少 損害額 約30兆円	余震多発 今後?! 直説損害額25 兆円(原発被害含まず) 世界初の原発被害・事故

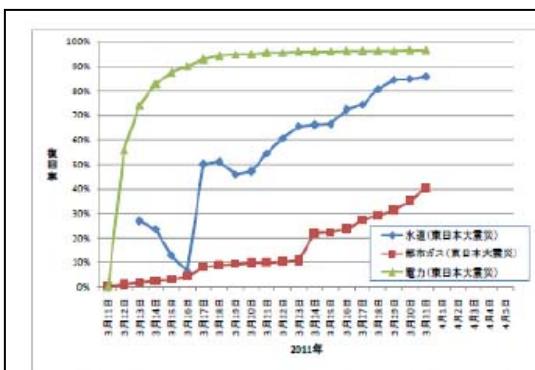
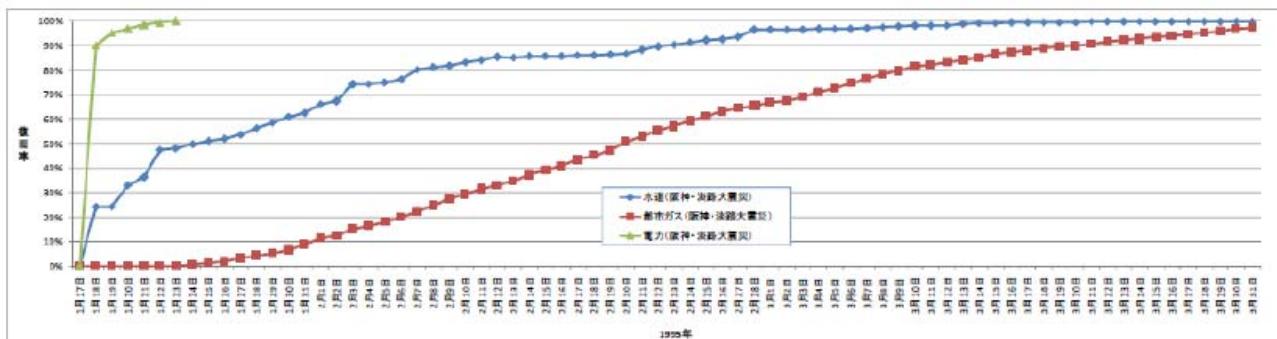
図20 東日本大震災における水道・都市ガス・電力の「復旧率=（延べ停止戸数-停止戸数）／延べ停止戸数」の推移
(電力については東北電力管内のみ)出典:土木学会 ライフライン復旧概況(時系列編)
岐阜大 能島教授1995年1月17日 → (20日後) → 2月6日
2011年3月11日 → (20日後) → 3月31日

図21 阪神・淡路大震災における水道・都市ガス・電力の復旧率の推移

図8 ライフライン(電力、水道、都市ガス)の復旧状況¹²⁾

表5 これまで三陸沿岸を襲った津波被害の比較

	明治三陸地震津波	昭和三陸地震津波	チリ地震津波	東北太平洋沖地震津波
地震の発生年月日と時刻	1896.6.15 午後8時半前	1933.3.3 午前3時過ぎ	1960.5.24 午前2時～5時	2011.3.11 午後3時～5時
マグニチュード	8 1/4	8.1	8.5	9.0
震源位置と発生機構	釜石沖約200km 海溝側太平洋ブレートの浅部での滑りにより発生	釜石沖約200km 太平洋ブレート内のアウターライズ地震と想定	南米チリ沖	牡鹿半島沖130km 地震波の解析結果では陸地側の深部の断層の滑りと海溝側浅部の滑りが交互に発生
死者・行方不明者合計	21,893	3,017	142	2万名強と推定
被害家戸数 全半壊流失戸数 (内:流失戸数)	約1万2千戸 (9,879戸)	約1万6千戸 (4,885戸)	4万戸強 (1,474戸)	約16万戸
津波遇上高さ(m)	綾里38.2m 吉浜24.4m 田老14.6m	綾里28.7m	三陸沿岸5～6m、他の地域 で3～4m	宮古市姉崎： 40.5m

これらの結果から東日本大震災の被害を概観すると次のようにまとめられる。

- ① 死者・行方不明者の数はおよそ2万4千人に達する。これは、おそらくわが国の地震災害史上、関東大震災に次ぐ規模であり、死者のおよそ90%が津波による溺死となっている。地域別では宮城県下で1万4千人余りと全体の60%を占めている。
- ② 住家被害では、やはり宮城県下で全半壊が8万2千棟強と全体のおよそ55%を占めている。岩手県の被害に比べ、福島県での全半壊戸数がおよそ1.5倍のおよそ3万棟に達しているこ

とや、茨城県下でも1万棟を超える被害が生じていること、そして、浸水被害で茨城、千葉の両県下で全体9,200棟余のおよそ4割弱の3,500棟を超えたことなどが注目される。これらは、やはり津波の影響が関東地方の太平洋沿岸にまで広く及んだことを示している。なお火災による全半焼も宮城県下で119棟と全体の46%を占めたが、福島や茨城県下合計でもそれと同程度生じたことが目につく。宮城県下では気仙沼市で津波により港湾施設から油が漏出して火災が生じた。

③ インフラ関連の被害については道路や斜面で、千葉県下での状況が宮城県と同程度となっていること、茨城県やその他の関東地域のものも合わせると東北各県下での件数を超える状況となっていることが注目される。これは、震源から遠く離れた関東北部や千葉県など東京湾岸地域の震度3以上の揺れが3分以上も続いた地震の継続時間の長さによる液状化発生の影響が関係しているものと考えられる。東北各県での道路橋や被害はどれも津波による落橋や交通支障による被災である。鉄道については、東北新幹線を除いては津波の影響によるものと考えられる。なお、茨城県下での道路橋の被害が41か所と、全体71か所の6割に近い数値となっており、となりの千葉県では皆無となっていることが注目される。これについては、茨城県下は今回の震源域の南部により近いため、地震動の強さが千葉県下のそれよりも大きかったことが効いているのではないかと考えられる。

④ ライフライン施設の復旧状況については、電力が最も早く復旧し、ついで上水道、都市ガスの順に遅くなっている。これはこれまでの大きな地震の場合と共通であるが、阪神・淡路大震災の状況と比べると、図8からわかるように、電力ではやや遅れぎみ、上水道や都市ガスについては、逆にやや早くなっている。ただし、宮城、岩手、福島の各県では津波による被害の影響を大きく受けて、これら各施設の復旧の進みぐあいがはかばかしくないのが実情である。

⑤ 今回の大震災と1923年の関東大震災、1995年の阪神・淡路大震災の状況とを比較して表4にまとめているが、災害の規模は関東大震災がわが国最大であること、阪神・淡路大震災は津波の影響も受けず神戸市を中心とする周辺の限られた地域における家屋の倒壊や火災、道路橋等の構造物の被災が特徴であったことがわかる。一方、東日本大震災では、太平洋沿いの広い地

域に津波が襲いかかったことに加えて原子力発電所の被害と事故が甚大であったことなどがこれまでにない被災の様相であった。

⑥ 津波被害については、表5に明治三陸津波、昭和三陸津波そしてチリ地震津波と対比して整理した結果を示しているが、津波そのものの規模や被害家屋の数では今回が最大となっていて、M9.0の地震の震源が日本海溝沿いに大きく南北方向に広がっていたため津波が襲来した地域も北海道から沖縄まで及んだことを示している。なお、死者・行方不明者の数については、津波の襲来が明治三陸津波に比べてはるかに広い地域に及んだにもかかわらず、今度の津波では明治三陸津波のおよそ2万2千名を下回る見込みであることが注目される。

以上、記してきたように、今回の大震災は、地震、津波に加えて福島第一原子力発電所の被害と事故の複合災害であろう。上記の被害の全体像を考えると、原子力発電所の影響がわが国ののみならず、世界に及ぼした影響が深刻かつ重大なものであることは認めた上で、あらためて地震災害としては津波による広範な太平洋沿岸地域に与えた影響が最も大きい。地震の影響については、地震動の卓越周期が一般的な建物や構造物の揺れやすい周期に比べて短かったため、地盤の液状化や宅地造成盛土、古いアースダム等の土構造物での被害以外は、それほど著しいものではなかった。このことは、社会インフラの健全性の確保にとって、M9.0の巨大地震のわりには不幸中の幸いといえるものの、原子力発電所の原子炉建屋や原子炉本体の収容構造には逆に熾烈な影響を及ぼしたのかもしれない。近い将来発生の可能性が高いといわれている「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下地震」などで、今回の地震と同じような地震動の卓越周期を呈する保証はないことに留意しなければならない。仮にM8を超える巨大地震で卓越周期が1~2秒程度となった場合には建物や各種構造物に過酷な影響を及ぼす事態を、あらかじめ考えておくことが震災対策計画を実効ならしめるために極めて重要な課題である。

3. 各種インフラ施設の被害の特徴と災害の構造

(1) 津波が引き起こした被害

1.に記したとおり、巨大津波の襲来により2万3千名を超す多くの生命が犠牲となったほか、広範な沿岸居住地域での家屋の流失や火災が生じた。そして、それらによる膨大な量の瓦礫が生じるこ

ととなった。これらに加え、次のような津波による各種インフラ施設の被災が特徴的であった。

- a. 福島第一原子力発電所 1号機～4号機原子炉建屋に付属する各種施設の被災
- b. 津波防波堤、防潮堤など海岸堤防の破壊 (cf. 写真 3)
- c. 港湾施設や漁業・水産業施設の壊滅的被害
- d. 津波の遡上による河川堤防の崩壊
- e. 橋梁の上部構造(桁)の転落 (cf. 写真 4)
- f. 沿岸の下水道処理施設の被災 (cf. 写真 5)

特に、a、b、e、fについては、わが国でも初めてのできごとであり想像を超える津波の破壊的な強さを思い知らされることとなった。

なお、建物の被害については、現場の状況からは鉄筋コンクリート造に比べて、鉄骨造のものが津波に対しては弱かったようである。



写真 3 海岸施設の被災状況(南三陸地区)



写真 4 道路橋の津波による桁の落下の状況
(国道 45 号 南三陸地区 歌津大橋)



写真 5 南蒲生ポンプ場の津波による被災状況

(2) 液状化とそれによるライフライン施設や家屋など建物の被害など

仙台周辺、茨城県や千葉県や東京湾岸地域では地盤の液状化が広域的に発生した。それにより、各種のライフライン施設、特に、上・下水道の管路が各地で多く被災を受けた。このため、長期に及ぶライフライン施設の機能障害が生じ、住民の生活への支障が深刻なものとなった。なお、仙台市内の都市ガスについては、新潟からの仙台までのパイプラインからの緊急供給ができたこともあって、阪神・淡路大震災での供給復旧よりも短い期間で回復することができたようである。

(3) 土構造物の被災

仙台や福島市内での宅地造成地で盛土部分の地すべり様の変状、崩壊が目立った。また、福島県下の農業用のため池でアースダムの被災が多く発生した。いずれも、建設後半世紀以上経過したものであるが、その中には、写真 6 に示すように堤体に大規模な変状が発生して破堤し、ダムの下流域で 6 名が死亡、1 名が行方不明となる惨事を引き起こした事例があった。



写真 6 福島県 藤沼貯水池の被災状況

(4) 復旧事業の遅れ

上記、各種インフラの復旧事業の展開の進みぐあいについては、震後3ヶ月経過時点でも、必ずしも順調に推移していないようである。これについては、M5.0以上の余震の回数が500回を超えるような状況¹³⁾、津波浸水地域が地殻変動で最大1mにも達する地盤沈下が生じたことや1万人を超えた行方不明者の捜索と膨大な瓦礫の処理がなかなか進まないことが原因と考えられる。福島県の太平洋沿岸部では、これらに加えて、原発被害と事故による周辺地域への放射能拡散の影響や放射能に汚染された瓦礫の処理、そして福島、茨城、千葉県などで生産された食物の放射能汚染の風評被害などの要因が加わり、事態を深刻ならしめている。

復旧展開の遅れが目立つのは、政府の政治主導という基本姿勢にもかかわらず、官僚機構に対するリーダーシップの欠如や信任不足によるところが大きいように感じられてならない。

このような状況の下で、国道の復旧は迅速だったことは特筆されるべきであろう。国土交通省東北地方整備局では、三陸沿岸地域の孤立の解消を期して、仙台以北の国道4号を脊髄とし、それから枝状に、石巻、気仙沼、陸前高田、大船渡、釜石、宮古を結ぶ国道の早期啓開を可能ならしめる点検・診断と復旧展開を「くしの歯」作戦と名付けて、その任に当たるテック・フォース・チームを震後直ちに招集し、陸、空から展開させることとした。その結果、震後5日目の3月16日には概ね、国道4号からのアプローチが可能となり、その二日後の3月18日には国道45号、同6号の97%が啓開を終了したのである¹⁴⁾。

(5) 大震災をもたらした災害の構造

ここで、今度の東北太平洋沖地震が引き起こした大震災の構造を考えてみる。高橋は災害の起くる要因としてある環境の下での、「素因」、「誘因」そして「拡大要因」を取りあげ、それらの相互関係を図9¹⁵⁾のように整理している。また、佐伯は地震災害の構造として図10¹⁶⁾に示すように分析しており、地震災害の規模は高橋が提案したこれらの要因に加え、「被害抑制要因」としての「震前対策」と「震後対策」が有効に作用するか否か、その程度で決まるものとしている。

このような整理の考え方を今回の大震災に当てはめると以下のようにあらわすことができる。

まず、「素因」には、津波被害を受けやすい三陸や仙台湾以南の海岸地形がまず挙げられる。次い

で地盤条件、たとえば東京湾岸北部の液状化が生じやすいゆるい砂質地盤の存在などである。

「誘因」は、言うまでもなくわが国有史以来最大規模のM9.0 東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波の発生である。

「被害拡大要因」には、沿岸低地に集中した市街地や集落の存在やライフライン相互のシステム間の連鎖、津波に対する住民の防災意識と避難行動のギャップなどが挙げられる。加えて、万一、被害や事故が発生した際、危険性の極めて高い原子力発電所の立地も重要な要因である。

「被害抑制要因」については、震災の事前対策としての原子力発電所を含む各種インフラの整備～補強状況、震後対策としての市街地の不燃化対策や住民の避難誘導計画の推進状況、ライフラインの機能確保のためのバックアップシステム整備状況などのハードからソフトまでのさまざまな対策があげられる。

今回の震災は、これらの要因相互の力関係、すなわち、「誘因」としての地震と津波の規模が有史以来。わが国最大のものであり、このことが「素因」である太平洋沿岸の地形や地盤条件の下で「被害拡大要因」のレベルが「被害抑制要因」をはるかに上回ったことによってもたらされたものと言える。

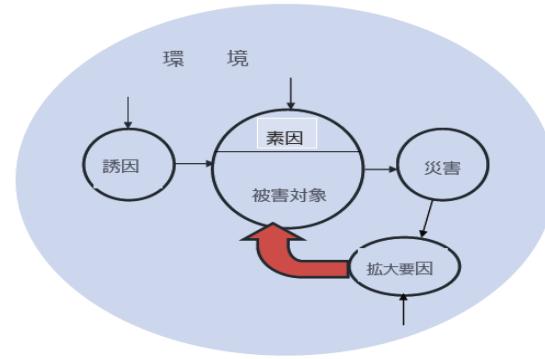


図9 災害の起くる「素因・誘因・拡大要因」の相互関係¹⁵⁾

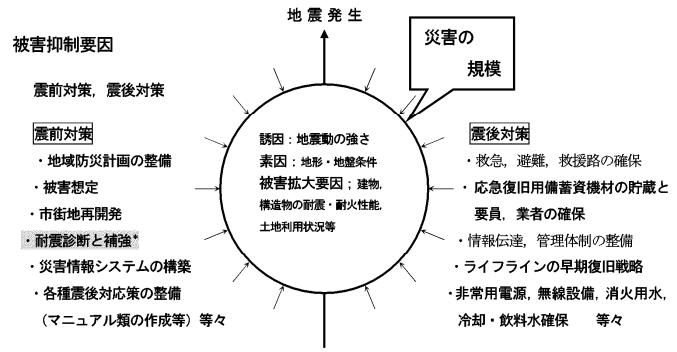


図10 地震災害とその軽減対策の関係の概念¹⁶⁾

4. 震災の教訓と課題

前章までまとめてきた東日本大震災の全体像から、浮かび上がってくる教訓と課題について考えてみたい。教訓については大きく次の5つの事項に分けることができそうである。

- ① 被害の様相を考えることのむずかしさ⇒モグラ叩きゲーム
- ② 自然現象としての地震や津波の脅威の再認識
- ③ 災害規模の増大や複合災害の可能性の理解
- ④ 低頻度巨大地震がもたらす災害への備えの必要性
- ⑤ 原子力発電所の被害と事故による安全神話の崩壊

まず、①の被害の様相を考えることのむずかしさについては、これまで大地震の生じるたびに、震源の位置もその規模、そして被害の様相も専門家の予期し得ないものとなっているという事実を重ねてきたことである。例えば、1995年の阪神・淡路大震災やそれ以降の平成19年新潟県中越沖地震など被害地震の最近の発生状況を見ても、地震が生じた後にはいろいろ専門家から説明や解説がおこなわれてきたが、その地震が生じる前の警告や注意喚起の情報はどれ一つなかったのが実情である。そして地震による被害が生じるたびに、その前には思いもかけない被災の形態や様相を目の当たりにしてきた。

今回の東北太平洋沖地震のM9.0という規模や南北450km、東西200kmという震源域の広がり、そして津波の規模や強さなどの災害の「誘因」としての現象、さらには津波による沿岸地域の破壊、巨大な津波防波堤や橋梁、各種建物の被災、そして福島第一原子力発電所の被害と事故などについては、おそらくは専門家の誰もが事前には想えていなかった事象が生じたのである。耐震工学や地震工学の研究や技術の水準は大地震のたびに生じた被害状況の調査、分析を行ながら進展する経験工学的要素の強いものであるから、現象の後追いになりがちなのは否めない。そのような意味で今回の地震でもこれまで備えてきた震災対策の水準や範囲を超えた事態が生じたわけで、筆者は、遺憾ながら、またも“もぐら叩きゲーム”となってしまったと感じざるを得ず、あらためて専門家の末席に連ねる身として、真摯にかつ謙虚に専門家の使命と責務を顧みるべきだと考えている。

②の自然現象としての地震や津波の猛威の再認識については、地球の歴史や地球の内部構造に係わる問題であるとの再認識が必要であろう。再現期間1,000年オーダーの極めて低い発生頻度の巨大地震が起これば、その発生の地理的条件によっては悲惨な大災害となるのである。今回の地震の再来ではないかと考えられている869年の貞観地震（M8.3±1/4と推定）では古文書に1,000名を超える溺死者が生じたことが記録されている¹⁷⁾。同様にわが国にくらべて、あまり地震活動が活発ではない外国の事例では、1755年11月1日にポルトガル南西部に大災害を生じさせたM8.5、死者およそ6万2千人のリスボン地震²⁾や1811年12月から2月にかけて米国ミズーリ州セントルイス市南方ニューマドリッド付近でM8.0の大地震が3回続けて生じた事例²⁾も記録されている。このようにわが国ばかりでなく外国での低頻度の巨大地震が生じた事実も忘れてはならない。

いずれにせよ、われわれは地球上で、最も地震活動の活発な位置に国土を置いているという事実、そして世界第3位のGDP大国として、高度に発達した資本主義、自由主義経済の下でグローバルに展開しているという事実が、地震災害のポテンシャルへリスクを世界のどの主要国の中で最も高くしているという事実を冷厳に受け止める必要がある。地震の規模や地震動を予測するのは、地震の発生が地球の営みの結果であるという不確定性の高い現象だからこそ、その推定には不確定性が高く、したがって、地震による建物や各種インフラ施設の耐震性の評価や被害の状況を的確に予測、想定することも当然のこととして不確定性が高く、ばらつきが大きいものだということも、わが国民として知っておくべきであろう。

③の災害規模の増大や複合災害の可能性の理解については、故寺田寅彦博士が、関東大震災後11年経過した1934年に書きあらわした隨筆「天災と国防」¹⁸⁾の中で、自然災害について次のように蘊蓄のある興味深い記述をしていることに着目すべきであろう。

「(前略) 考えなければならないことで、しかもいつも忘れられがちな重大な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である。(中略) 文明が進むに従って人間は次第に自然を征服しようとする野心を生じた。

(中略) 災害の運動エネルギーとなるべき位置エネルギーを蓄積させ、いやが上にも災害を大きくするよう努力しているものはたれあろう文明人そのものの

である。もう一つ文明の進歩のために生じた対自然関係の著しい変化がある。それは人間の団体、なかんずくいわゆる国家あるいは国民と称するものの有機的結合が進化し、その内部機構の分化が著しく進展して来たために、その有機系のある一部の損害が系全体に対してはなはだしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、時には一小部分の傷害が全系統に致命的となりうる恐れがあるようになつたということである。(中略)
 二十世紀の現代では日本全体が一つの高等な有機体である。各種の動力を運ぶ電線やパイプが縦横に交差し、いろいろな交通網がすさまじく張り渡されているありさまは高等動物の神経や血管と同様である。その神経や血管の一か所に故障が起こればその影響はたちまち全体に波及するであろう。中略) それで、文明が進むほど天災による損害の程度も累進する傾向があるという事実を充分に自覚して、そして平生からそれに対する防御策を講じなければならないはずであるのに、それがいっこうにできていないのはどういうわけであるか。そのおもなる原因是、畢竟そういう天災がきわめてまれにしか起こらないで、ちょうど人間が前車の顛覆を忘れたころにそろそろ後車を引き出すようになるからであろう。(後略)

上記の一連の指摘は、災害が文明の進展にしたがってその拡大の可能性を高めるようになること、社会の組織が高度化、複雑化するにつれて、その運営システムの一部に支障が生じるとそのシステム全体に波及するとか、社会機能を担うさまざまなものライフラインシステム間相互の連鎖によって、あるシステムに支障が生じるとシステム総体の機能が損なわれる可能性に言及したものである。そして、そのような傾向があるという事実を認識しながら、普段の対応をしないのは天災が極めて稀にしか生じないため、自分は大丈夫とかをくくっているからだと主張している。ちなみに上記の引用した文章の最後のくだりが「天災は忘れたころに...。」という寺田博士の警句となって社会に伝わってきたルーツと考えられている。

このように、文明の進化が災害の様相を複雑にするとともに災害のポテンシャルを高めるものだという示唆は21世紀の今日、極めて貴重なものであり、これからの大震災の備えに不可欠な教訓として認識すべきである。

なお、巨大地震の発生と活火山の噴火との関係、特にM8.5超級の「東海・東南海・南海地震」タイプの西南日本太平洋沖の巨大地震の発生時期と富士山の噴火との関係も考えられることが指摘されており¹⁹⁾、富士山の噴火の影響を受けることが想定される首都圏では、これらが複合した災害の

シナリオも考えておくことが必要と考えられる。

つぎに④の低頻度巨大地震がもたらす災害への備えについてであるが、再現期間1,000年を超すような今回のような巨大地震の襲来を考えた場合の対応を定めておかなければならぬということである。筆者は国家の使命は、国民の生命と財産の確保が第一義であり、それゆえに、国には「国の安全保障～国防」と「世界でも稀な規模となる地震災害に対する防災・減災」の二つの政策を国の二大目標として遂行して行く責務があるものと考える。この後者の視点に立って、つぎに襲ってくるであろう巨大地震(the next big earthquake)に備えるためにも、「想定外の事態」だとして逃避するのではなく、考え方の最悪のシナリオを想定した防災・減災のための国家戦略の大綱を早急に確立することが、経済のグローバル化が進む下でわが国のカントリー・リスクを低減するためにも求められるのである。

最後に⑤の原子力発電所の被害と事故による安全神話の崩壊についてであるが、2007年の新潟県中越沖地震の際に、東京電力柏崎原子力発電所の施設に生じた被害がわが国で初めての事象であった。この被災による施設の耐震性能の発揮については、いくつかの問題点や課題が国際原子力機関(IAEA)の現地での調査を踏まえた評価結果²⁰⁾で明らかにされた。そのような最近における経緯があつての今回の地震による福島第一原子力発電所の衝撃的な被害と事故の発生であった。

震後三ヶ月を経た時点の状況では、原子炉の炉心溶融が生じたことや原子炉本体の冷却装置自体の構造の損傷があったことが新たに報じられて来ており、地震発生後の津波の襲来による非常用電源装置の被害とその後の対処に関する事故が問題とされていた震後の報道内容と大きく異なる様相を呈している。要は、絶対に安全だといわれていた原子力発電所本体の耐震性が必ずしもそうでないことがはっきりしたわけで、いわゆる安全神話が脆くも崩れ去ったという事実が世界に知らされることとなつた。

この安全神話という概念について外岡秀俊は著書²¹⁾の中で次のような興味深い説明をしている。すなわち、

「『神話』とは危機に対して脆弱な現実を覆い隠す被膜であり、普段は意識されることなく、崩れることによってしか露呈しない社会の合意事項だ。」そして「大切なのは、災害によって露呈した社会の合意事項のど

の部分が崩されたのか、その箇所と原因を探り、確定して行くという作業だろう。その場合に、合意のレベルがどこにあるのかを、その都度明らかにしておく必要がある。社会の合意と言っても、技術者や専門家、法曹、消費者など、各職種、各層によってその認知度や了解の範囲が大きく異なるからだ。」(中略)「『神話』は技術者や専門家が独自に創りあげ、流布することによって成立するのではない。『神話』は実は、一定の専門家の合意がさまざまな網の目を通じて社会に流布される間に、次第に緩められて変質し、当事者ですから、気がつかないうちにその変質した合意を暗黙のうちに受け容れることによって成立する。その時点で、専門家は、責任と権限を持った技能集団ではなく『神話』を解釈する巫女、ないしは預言者に近い集団に転化する。専門家の合意は、社会的合意にならない限り、また新たな『神話』を紡ぐことにしかならないだろう。」

まさに、震後、原子力安全委員会のトップの発言も含め東京電力や経産省の原子力保安・安全院が今回の事故を地震や津波の現象を想定外であったとして説明しようとしていることが、上記の外岡の指摘の内容と密接に関係しているように考えられる。すなわち、上記の文章の中での「一定の専門家」の存在が、その表現で意味しているよりももっと限定的ないわゆる“原子力村”の中に限られていて、そこの分野以外の客観的な判断を果たしうる専門家の参画が十分で無いままに多重のフェイルシステムがあるから安全だという説をマスメディアを通して流布し、それが社会に定着してしまったたようと思われるのである。

なお、上記、福島第一原子力発電所と同じようなメカニズムで機能支障に陥った事例については、1978年宮城県沖地震の際の仙台市の下水道施設の状況が参考になるものと思われる。それは名取川の下流域にあるポンプ場で停電により処理場のポンプが稼働不能となったため、直ちに非常用電源装置が作動したものの、その冷却に必要な水が断水したために非常用電源装置の機能が停止し、下水処理ができなくなった事故であった。それにより汚水を名取川に緊急放流せざるを得ない事態に陥ることとなった。要は、フェイルセーフ的な機能を期待するバックアップシステムが停電と断水といった異なるライフライン施設の機能支障によって連鎖的に影響を受けたために作動しなかったことが事故の原因だったのである。まさに上記の寺田博士の指摘そのものであり、原子力発電所の機能確保面から求められる耐震性能の発揮の中身が問われることになる。

いずれにしても最近、首相の諮問組織として畠

村東大名誉教授を委員長とする事故調査委員会の第三者機関としての成果が待たれるところである。

以上の安全神話に関する問題提起は、あらためて、専門家の倫理と使命～存在意義と行動の内容が問われることを示唆するものであり、きわめて低頻度の巨大地震に対する安全性を議論するには、自然科学と工学技術の立場の相違を社会的共通認識とする必要があるのでないのだろうか、要は、現象の不確定性をどう評価し、安全性とコストのトレードオフの問題に対して、当該プロジェクトの工期に間に合わせるために、どのように工学的意思決定を行うのかということが技術者の使命であることを再認識すべきなのであろう。

以上、今回の大震災の様相に照らして5つの教訓を指摘したが、土木工学、地震工学の立場での今後の課題としては、つぎの三つにまとめられよう。

- i. 低頻度巨大地震に対する防災・減災の基本方針やそれを実効ならしめる制度設計や施策の体系化などの対応戦略や計画（案）の策定
- ii. 今回の大震災で被災を受けた公共インフラ施設の復興水準や計画（案）の策定
- iii. 原子力発電所の耐震性能評価の見直しのための適用基準等の検討と策定

なお、このうちiiiについては、筆者の専門外であり、以下の5.では一般的な記述に留めることとする。

5. 今後の対処方策について

(1) わが国をめぐる今後の地震発生の危険性

もしも、このたびのM9.0の東北地方太平洋沖地震が1,100年余り前の貞觀地震（869年 M8.3 ±1/4）の再来だとするならば、その発生前後、数十年の間の被害地震の発生状況を真剣に考えてみる必要がある。すなわち、

- 830年 出羽、秋田 M7.0~7.5
- 841年 伊豆 M7.0 丹那断層の活動か？
- 850年 出羽、庄内 M7.0
- 863年 越中、越後 M7.0以上？
- 868年 播磨、山城 M7.0以上 山崎断層帯の活動
- 878年 関東諸国 相模、武藏 M7.4
- 880年 出雲 M≈7.0
- 887年 仁和五畿七道地震 M8.0~8.5

と理科年表²⁾のカタログによれば8つの被害地震が記録されている。これらの地震の震央の位置を図11²²⁾に示す。

このうち、特に下線を施した地震が注目される。

878年の地震は関東南部から西部の内陸に生じた直下型地震のタイプ、また887年の地震は、いわゆる東南海～南海地震と同じ震源域を有する巨大地震と考えられる。よって、今回の東北地方太平洋沖地震が869年の貞觀地震を再現する発震機構であるとすれば、これら二つのタイプの地震の先触れとしてみなすこともできよう。「首都圏直下地震」や「東海・東南海・南海地震」が近い将来、生じる確率が高いとされている地震調査・研究の最近の見解とむすび合わせてみると、その備えを真剣に考えなくてはならない。

また、M8超級の巨大地震では、断層の走向方向の両端延長部分で、本震と同じようなメカニズムで多くの地震が生じる可能性があることにも注意する必要がある。今回の地震を考えると北方では1968年十勝沖地震(M7.9)や1994年三陸はるか沖地震(M7.5)が生じているのに対し、南方の房総沖では近年、大きな地震の発生が無い。歴史をさかのぼれば、1677年に(延宝)房総沖地震(M8.0)が発生し、千葉から茨城の沿岸に津波が襲来して犠牲者200名以上に達したとの記録が残されている。この海域での巨大地震の発生もここ半年か1年ぐらいは警戒すべきとの指摘⁸⁾があるので、注意を払うべきであろう。

ここで近代的な地震観測が始まってからのわが国の被害地震の発生状況をながめてみる。

表6、7は片山²³⁾がまとめた1891年の濃尾地震以降、死者1,000人を超えた地震の一覧および第二次大戦敗戦直後の1948年の福井地震から後の死者20人を超えた地震の一覧である。これらの表から戦後に生じた地震で死者1,000人を超えた地震は福井地震以降ではその47年後の1995年の兵庫県南部地震まで一度も無かつたこと、その間、死者100名を超えた地震は、1983年の日本海中部地震と1993年の北海道南西沖地震の二つのみで、いずれも津波被害による犠牲者が生じたものであったことがわかる。

このようにわが国第二次大戦敗戦後の復興期や1960年代からの高度経済成長期に、たびかさなる台風などによる豪雨災害は多かったにせよ、地震の影響が少なく、国土が平穏な時期に相当していたことは、きわめて恵まれていたと言えよう。それが1995年の阪神・淡路大震災をきっかけにして、M7を超える内陸直下型地震が各地で多く発生するようになり、この2011年3月11日の午後2時46分をむかえることとなった。20世紀末から21世紀に入って、もはや戦後50年も続いた静穏の時代から大地動乱の時代に突入したという認識

を全国民で共有し、近い将来、襲ってくるであろう次の巨大地震に対する備えを講じておかなければならぬのである。



図11 869年貞觀地震の発生前後のわが国の被害地震の発生状況²²⁾

表6 濃尾地震(1891年)以降の死者1000人以上の地震²²⁾
〔『テクノライフ選書 大地が震え、海が怒る——自然災害はなくせるか』
首藤伸夫・片山恒雄、オーム社、1996年、に加筆修正〕

西暦 (日本暦)	地震名	M	死者数	その他の
1891年 (明治24)	濃尾地震	8.0	7,273	わが国の内陸地震として最大、建物全・半壊22万余、全焼7000以上、断層・山崩れ・液状化
1896年 (明治29)	三陸地震 津波	7.6	21,959	陸上の被害なし、死者の大半は岩手県、家屋流出、全半壊1万以上、波高30m以上のところあり
1923年 (大正12)	関東大震災	7.9	142,000	プレート間(海溝型)巨大地震、死者の多くは火災による、家屋の全半壊約25万、焼失約45万
1927年 (昭和2)	北丹後地震	7.3	2,925	京都府北西部、家屋全壊1万2000以上、焼失約3700、直交する2つの断層が生じた
1933年 (昭和8)	三陸地震 津波	8.1	3,064	地震の揺れによる被害なし、家屋流出4000以上、波高25mに達したところあり
1943年 (昭和18)	鳥取地震	7.2	1,083	家屋全壊約7500、半壊約6000、地割れ・地変多し、2つの断層が発生した
1944年 (昭和19)	東南海地震	7.9	1,223	家屋全壊1万7600以上、半壊3万6500以上、名古屋被害多し、紀伊半島に最大波高10mの津波
1945年 (昭和20)	三河地震	6.8	2,306	家屋全壊7200以上、半壊1万6000以上、断層・山崩れあり、規模のわりに被害大
1946年 (昭和21)	南海地震	8.1	1,330	家屋全壊1万1000以上、半壊2万3000以上、流失約1450、焼失約2600、最大波高6mの津波
1948年 (昭和23)	福井地震	7.1	3,769	家屋全壊3万6000以上、半壊1万1000以上、焼失3800、断層生ず、福井市にとって直下型地震
1995年 (平成7)	兵庫県南部地震	7.2	6,432	家屋全壊約10万5000、半壊約14万4000、住家全半壊約6000以上、神戸でライフライン被害大、重傷者8782、断層45km

表7 福井地震（1948年）から後の死者20人以上の地震²³⁾
 (『テクノライフ遺書 大地が震え 海が怒る——自然災害はなくせるか』首藤伸夫・片山恒雄、オーム社、1996年、に加筆修正)

西暦 (日本暦)	地震名	M	死者数	その他の
1952年 (昭和27)	十勝沖地震	8.1	28	家屋全壊815、半壊1324、流失91、最大波高4mの津波が北海道南部、東北北部を襲う、不明5人
1960年 (昭和35)	チリ地震津波	8.5	142 (不明含む)	チリ沿岸の巨大地震による津波、最大波高6m、家屋全壊1571、半壊2183、流失1259
1964年 (昭和39)	新潟地震	7.5	26	家屋全壊1960、半壊6640、浸水1万5298、新潟市で著しい液状化被害、最大波高5mの津波
1968年 (昭和43)	十勝沖地震	7.9	49	全壊673、半壊3004、浸水527、傷527、山崩れ多、最大波高5mの津波、RC建物被害目立つ
1974年 (昭和49)	伊豆半島沖地震	6.9	30	傷102、死傷者の多くは地滑りによる、家屋全壊134、半壊240、断層が生じた
1978年 (昭和53)	伊豆大島近海地震	7.0	25	傷211、家屋全壊96、半壊616、道路損壊1141カ所、崖崩れ191カ所、断層が見られた
1978年 (昭和53)	宮城県沖地震	7.4	28	傷325、家屋全壊1183、半壊5574、造成宅地、ガス・水道・電気などのライフライン被害が注目された
1983年 (昭和58)	日本海中部地震	7.7	104	死者のうち100人は津波、傷163(104)、全壊934、半壊2115(499)、流失52(52)、()内は津波
1984年 (昭和59)	長野県西部地震	6.8	29	傷10、家屋全壊14、半壊73、一部破損565、道路損壊258カ所、死傷者の大半は崖崩れ、土石流による
1993年 (平成5)	北海道南西沖地震	7.8	230 (不明含む)	内199人は奥尻島、家屋全壊594(奥尻432、うち火災192)、市街地に10mを超える津波
1996年 (平成7)	兵庫県南部地震	7.2	6,308	

(2) 低頻度巨大地震への備えのあり方と改善方策

極めて稀にしか生じないM8超級の巨大地震に対する国家戦略としての備えはどのような内容が必要とされるであろうか。わが国のどこかの地域に悲惨な災害をもたらしこのような巨大地震は、個々の震源域では再現期間1,000年のオーダーで生じるのだが、総体としてみれば100年～200年間隔でどこかの地域が影響を受けることになることに着目すべきである。このような視点に立って、このような巨大地震に対する国の施策の現況をレビューすると次の4つの事項が見直しや再検討などの対象として浮かび上がってくる。

すなわち、

- 災害対策を所掌する行政組織や法体系の見直し
 - 津波災害も包含した震災対策に関する基本方針の策定
 - 事前対策としての被害軽減のためのインフラ施設の整備(新設及び既設の耐震補強)の水準と社会的合意形成
 - インフラ施設の被害想定の手法の見直しと新たな制度の導入など
- の4項目である。

まず、aの災害対策を所掌する行政組織や法体系の見直しについてであるが、現行では内閣には防

災特命担当大臣が置かれている。内閣府の所掌として防災部門がおかれ災策統括官(防災担当)の下で、災害対策の総合的推進として、つぎの10の取組²⁴⁾が行われている。

- i 地震対策、ii 火山対策、iii 大規模水害対策、iv 防災訓練、v 災害時要援護者の避難支援、vi 災害被害を軽減する国民運動の展開、vii 防災ボランティアの活動の環境整備、viii 企業の防災力向上の推進、ix 国際防災協力の推進、x 被災者生活再建支援制度

この他、災害発生時の対応として、情報対策室を設け、被災情報の迅速な収集把握に努めて、応急対策への対応と政府調査団の派遣の計画、決定を行うことや、災害が大規模で国家的対応が必要な場合には防災担当特命大臣を長とする「非常災害対策本部」を設置し、迅速な応急対応を可能ならしめるような仕組みとなっている。

また、内閣府には中央防災会議がもうけられている。内閣総理大臣が会長となり全閣僚と有識者(地方公共団体の長及び実務家)で構成され、内閣総理大臣や防災担当大臣の諮問に応じて重要事項を審議し、意見を述べる等の機能を有するとともに防災基本計画の実施の推進等、執行機関としての性格も有している。

このような防災対策に関する国の施策を推進する組織の下で、現行の法体系では上位の法律として「災害対策基本法」が位置づけられている。この法律はつぎの6つが骨子²⁴⁾となっている。

- i 防災に関する責務の明確化、ii 総合的防災行政の整備、iii 計画的防災行政の整備、iv 災害対策の推進、v 激甚災害に対処する財政支援等、vi 災害緊急事態に対する措置

この中で重要なのは、iiとiiiで国、都道府県、市町村各レベルの防災会議の設置と防災計画の策定を義務付けており、また、ivの災害対策の推進では、市町村は防災業務に第一義的に責務を負うこととされており、市町村長に住民の避難の指示、警戒区域の設定、応急公用負担等の権限が付与されていることである。

このような災害対策の最上位の国(の法律の規定で、今回の巨大地震の対策がはたして有効に機能したのであろうか。その回答が見直しの方向でなければならない。

まず、津波による重大な被害が青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉の各県にきわめて広域的に及んだことに対して、各県や市町村の地域防災計画ではそもそも対処ができなかったことに加えて政府で設置する「非常災害対策本部」の機能も十

全でなかったことが挙げられる。

本来、「災害対策基本法」の制定の背景には戦後復興期から昭和33年の狩野川台風、そして翌年の伊勢湾台風までの一連の豪雨災害に対する経験がベースになっている。一方、M8超級の巨大地震のように建物や構造物の被害ばかりでなく、津波の襲来による人的、物的被害の拡大や河川や海岸堤防の破壊、変状、地盤の液状化、山崩れや宅地造成地盤の変状、港湾施設の被害に加えて、電力、上・下水道、ガス、情報・通信、廃棄物処理施設などの広汎な各種ライフラインの被害などなど、きわめて多岐にわたる被害の様相を呈する現象に対しては、このような豪雨災害を主とした備えでは、市町村や都道府県、特に府県レベルでは対処しうる人員も不足するし、的確かつ迅速な対応ができないのは当然である。特に、震後3ヶ月経過した現時点でも最も深刻なのは、瓦礫処理の進みぐあいがはかばかしくないことである。國の方針が二転三転し地元の自治体ではその対応に日々悩みが増しつつある。

現在、巨大地震に備えた対応については、現行の想定東海地震に対する昭和53年施行の「大規模地震対策特別措置法」や昭和55年の「地震財特法：地震防災対策強化地域における地震対策緊急整備事業に係る國の財政上の特別措置に関する法律」、平成7年の阪神・淡路大震災直後に施行された「地震防災対策特別措置法」、そしてその後平成14年の「東南海、南海地震に係わる地震防災対策の推進に係わる特別措置法」、同16年の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係わる地震防災対策の推進に係わる特別措置法」などの法体系の整備²⁴⁾がなされている。

今回の大震災をきっかけにして、これらの体系と内容をあらためて見直し、上記の想定地震の他に「首都圏直下地震」も対象にした巨大地震の発生を特定した広域的な震災対策計画の策定を推進すべきである。

この他、それらの計画の推進に当たる国レベルでの震災業務を所掌する組織、たとえば米国の連邦緊急事態管理庁 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 的な機能を有する組織を設置し、発災後、速やかに、防衛省や国土交通省の各地方整備局や関係する都道府県からの技術職からの支援組織も含めた、救急・救援から応急復旧、本復旧までの震後対応を一元化しうる体制を整備することも有効な施策と考えられる。上記の FEMA では、「総合地震対策指針 企業編、自治体(郡、市および大都市)編」：Comprehensive

Earthquake Preparedness Planning Guidelines for Corporate, County, City and Large City」を定めており、市および大都市編では準備および被害軽減(地震が発生する数年～数十年前から準備しておくべき活動)の対策の一環として地震安全対策および構造被害軽減を課題に挙げ、必要な業務の内容と役割分担を具体的に示している。大都市編では問題となる建物と構造物とを特定し、危険度にもとづく分類と公共の安全に対するリスク評価の実行を掲げていること、米国土木学会からの支援を受けることなどが示されているのが注目される。

次に b の津波災害も包含した震災対策に関する基本方針の策定については、筆者は阪神・淡路大震災の直後で、土木学会の耐震基準等基本問題検討会議で起草した「土木構造物の耐震基準に関する第一次提言³³⁾」で取り上げられ、国の防災基本計画にも取り入れられた二段階の地震動、すなわちレベル1、レベル2に対応した耐震性能の要求水準を定めることが望ましいのではと考えている。

去る5月10日に開催された土木学会東日本大震災特別委員会 第1回津波特定テーマ委員会では、今回の津波の特性と位置付けとして

- ・ 場所によっては、貞觀津波(869年)クラスか、それ以上
- ・ 貞觀津波クラスの巨大津波の発生頻度は、500年～1,000年に一度と想定

と指摘し、海岸保全施設の復旧と設計方針として、すべての人命を守ることが前提であり、主に海岸保全施設で対応する津波レベルと海岸保全施設のみならず、まちづくりと避難計画を合わせて対応する津波レベルの二つを設定するとしている。

すなわち、

津波レベル1；

海岸保全施設の設計で用いる津波高さ。數十年から百数十年に一度の津波を対象とし、人命及び資産を守るレベル

津波レベル2；

津波レベル1をはるかに上回り、構造物対策の適用限界を超過する津波に対して、人命を守るために必要な最大限の措置を行うレベル。ただし、地震発生後に来襲する津波には、避難の要否を予測することは困難なので、地震発生後は必ず避難しなければならないとしている。

今後は、この基本的な考え方を準拠した津波防波堤や海岸堤防の被災地における復旧設計や全国に展開するこれらの施設の耐震補強設計に適用す

るために、目標耐震性能をできるだけ早く具体化し、その照査基準や手法を確立することが急務の課題である。

なお、今回の地震で被災した釜石や大船渡での湾口津波防波堤の復旧をどの様な水準で対処するかが注目されるところである。被災したとはいえ、津波の威力を減じさせる効果は図12²⁶⁾に示すように確認されており、今回の津波の規模が明治三陸津波を超えた有史以来最大のものであったことを考えても、その役割を十分果たしたものと考えられよう。筆者としては、上記の津波レベルの考え方からすれば、復旧工事に当たっては、今回の津波を超えない高さで復旧するのではなく、当初計画の諸元に戻す、つまり現状復旧の原則で行うことと差し支えないのでと考えている。

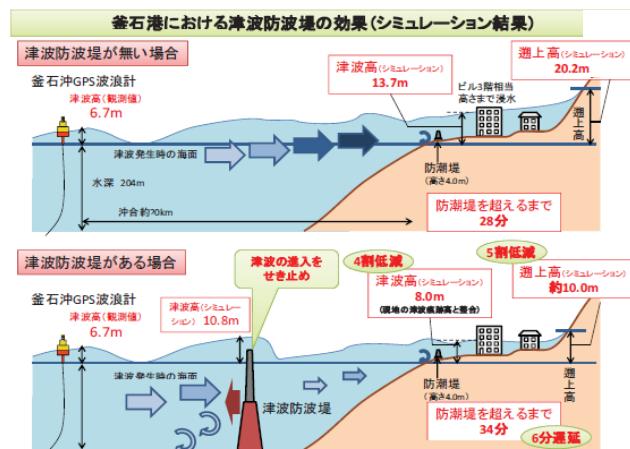


図12 釜石港湾口防波堤の効果の推定²⁶⁾

また、今回の地震で大津波警報が出されたにもかかわらず、本震後30~40分経過した時点で津波が到達する前になぜ多数の方々が避難できずに津波に巻き込まれたかということの分析も重要であり、その結果も踏まえて上記の津波レベル2における津波避難のあり方についても震災対策計画の中で明らかにする必要がある。

また、上記の寺田寅彦博士の指摘も踏まえ、21世紀の成熟した文明社会において、巨大地震に対する防災・減災を積極的に推進するためには、過去の地震災害の反省から個々の構造物の耐震性能を高めることはもちろん、当該施設の構造系や機能を担保するシステムとしての耐震性能の確保や想定外事象の発生も考慮した、システム全体のリスクを最小化する対処、たとえば、ライフライン施設や原子力発電所の施設などでは

- 当該施設全体の機能を担保するシステムを構成するサブ・システム間相互の接続部位や装置

の耐震性能確保のための配慮・工夫

- 停電の際の非常用電源の複数設置によるシステム機能の信頼性確保及び非常用電源エンジンの冷却水の確保など
- 施工段階での設計思想の確認の徹底による施工ミスのリスク回避策の徹底

などの対応の必要性を耐震対策の基本方針に取り入れる必要がある。

この他、震後の救急・救命活動や避難所の運営や住民の生活支援などに関する行政手続き等の当事者としての被災地の病院や地方公共団体や学校、そして企業などの事業継続計画(BCP)についても、その策定の必要性と内容骨子についても、震災対策計画の中に織り込む必要がある。

三番目の課題であるcの事前対策としての被害軽減のためのインフラ施設の整備(新設及び既設の耐震補強)の水準と社会的合意形成については、わが国がバブル崩壊以降、内需が停滞し、財政状態も人口減少、高齢社会に突入したこともある、きわめて逼迫している状況の下で、上記のような、20世紀末からの大地動乱の地震活動が活発化するという災害リスクに対して、どのようにお金をかけて備えをすべきかという選択の問題であると認識する必要がある。

そのためには、つぎの二つの課題を解決することが必要である。

- i 現状での各種インフラ施設での耐震化コストの情報公開
- ii 二段階の地震動の強さや津波の規模(レベル1、レベル2)に応じた耐震性能の目標と所要コストに関する社会的合意形成

現在、iに関する情報はほとんど国民に開示されていないのが実情である。特に電力や、上下水道、ガスなどのライフラインの受益者負担としての料金に占める耐震化費用はもちろん、道路や鉄道、各種構造物の建設コストに占める耐震性確保に必要費用は明らかにされていない。国民はわが国が世界でも有数な強震頻発地域に位置することを知りながら、インフラ施設の耐震安全性の確保にどれだけのお金がつぎ込まれているのか知らされていない。このような状況を変えることが国民の防災意識の向上にも寄与するので、関連情報の開示に必要な検討作業を進めるべきである。

iiについては、地震動の強さや津波の高さの想定に関する不確定性の評価の問題と関係するものである。このような不確定性を有する作用外力のばらつきの平均値～中央値的な値をとるか、それ

とも安全側に余裕を見込んで割り増した値を採用するか、その場合には建設コストは増えるが被災による損害は減ることになるという、いわば“トレードオフ”的な問題を広く受益者や納税者に公開して、社会的合意を形成しようとするものである。わが国では自体が開示されていない状況から実際に実行しようとするとさまざまな問題が生じるかもしれない。イデオロギーが絡んだ反対のための反対などの行動も生じる可能性があるが、きちんとした合理的な説明ができれば、世論としての最大公約数的なものに収束することもできるのではと考えている。

5(1)に記したわが国の今後の地震活動が活発化し、被害の発生するリスクが高まる状況の中で、どのように必要な社会資本に係わる事業を進めて行くかについては、平常時の費用便益解析で採用される要因のみで評価することは適切ではない。土木学会では2000年10月、阪神・淡路大震災の後の「耐震設計等に関する第3次提言」²⁷⁾の中で、レベル2地震動に対する耐震性能として損害回避便益と耐震化費用に基づく費用便益分析を基礎に決定すべきであり、具体的には施設の地域特性、利用特性および重要度ランクなどに応じて決定する簡易な手法を早急に開発すべきこと、そしてその損害回避便益には地震の際の間接的な損害も含んだカタストロフィックな影響を考慮して算出すべきことを指摘した。また、佐伯²⁸⁾は低頻度の巨大地震に対する備えのためには、無駄を排したり、効率性のみを重んじたりするだけでは不十分であり、防災・減災の要因を加味した適度な冗長性を加えた社会システムとしての付加価値の高いものとすべきであることを提案した。

今回の大震災の状況を踏まえ、国土交通省 社会資本整備審議会計画部会 道路分科会事業評価部会では、去る5月26日に開催した第3回部会で、事業評価手法についても、これまでの費用便益解析(CBA)で考慮する要因に加え、「防災・減災」の効果を反映すべきとの資料が提出された。上記した地震工学や土木計画学の立場からの意見が具体的の施策に反映されつつあるのは画期的なことと考えられる。

ここで震災対策に関する社会的な合意形成の参考になる事例として、米国カリフォルニア州サンフランシスコ湾東部沿岸地域の水道企業体(EBMUD: East Bay Municipal Utility District)で行われた耐震補強プロジェクトを紹介する²⁹⁾。

供給人口約120万人を抱えるこの企業体は、近い将来マグニチュード7級の直下型地震の発生に

備え、供用中の各種施設に対して詳細な耐震性の調査・診断を実施した。

その結果、現状のままでどのような被災が生じるのかをビジュアルに表現した被害想定シナリオを利用者である住民、企業に公開した。あわせて最低限の緊急対応の他に4段階の耐震性向上計画の内容とコストを提示し、利用者と地震直後の消火活動への影響および飲料水供給の程度を含む議論を市当局内部はもちろん、都市計画委員会、住民団体、企業団体、ロータリークラブなどの地域活動団体、退職者団体や生活弱者団体などを個別に対象とした公聴会を開催して議論を徹底して使う機会を設けたのである。そして全体として189百万ドル、日本円にしておよそ150億円あまりの事業規模を決定し、1994年から2005年の12年間で事業を完成了。この費用は今後30年間に平均的な利用者が年間一人あたり約20ドル、日本円にしておよそ1,600円の負担となった。これらの事業内容は上記の利害関係者や団体に対する教育・広報活動を通して周知が図られた。

このような情報公開を前提とした巨大地震の災害予防、減災対策の実施に関する社会的合意のプロセスを、わが国でも厳しい財政状況の下で積極的に試みることも認識すべきではあるまい。

震前対策の財源の確保方策については、上記のような受益者負担による手段に加え、税による対応も考えられる。静岡県では、1978年に施行された「大規模地震対策特別措置法」に基づいて各種の対策を実施してきたが、その財政的な基盤はその後に施行された「地震防災対策強化地域に係る国の財政上の特例措置に関する法律」による国庫からの助成が主なものであった。しかしながら県では対策実施の緊急性を配慮し、これに加えて独自に県内の経済界の協力を得て、新税による財源の確保に努めた。法人税に対する超過課税を1979年度から10ヵ年については10%、続く1993年度までは7%の割増率で行い、のべ1,500億円余りの独自財源を確保して、県、市町村、民間の地震対策事業に充当した³⁰⁾。ちなみに、このような法人超過課税は当時、東京都、大阪府、京都府、神奈川県、愛知県、兵庫県などで行われていたが地震対策を目的としたものは静岡県のみであった。

なお、今回の大震災を契機に研究・開発を含む復旧・復興関連の予算が急激かつ膨大になることが考えられる。しかしながら阪神・淡路大震災の場合には数カ年で防災関連予算が急減し、今回の震災の前には、国及び地方の財政状況が悪化していることもあり、必ずしも十分な震災対策事業

の展開ができていない状況である。このような“喉もと過ぎれば熱さも…”という傾向は米国でも同じと見えて、B.A.Bolt³¹⁾によれば被害地震が起きた後には急激に予算が膨脹し、政治的な支援が活発となるが、1年程度の半減期を持つ減衰曲線で急激にしぼんでいく状況だと述べている。いずれにせよ、上記のような今後の地震活動が活発化する中で、震災対策を計画的に進めて行くには、以下に提案する「地震災害アセスメント制度」の導入もふくめて、恒常的に必要な予算と財源とを確保して実践していくことについて、社会的な合意形成を図っていく必要がある。

最後の4番目の課題であるdのインフラ施設の被害想定の手法の見直しと新たな制度の導入などについては、i 被害想定の手法や精度に関すること、ii 想定外の規模の現象が生じた場合の対処に関する二つに分けられる。

このうち、iについては現行の被害想定の手法が地震工学や耐震技術に即したものを探用しておらず、物理的にきちんとしたリスクの評価が定量的に為されていなため、リアリティに欠けることが問題である。日野³²⁾は、地域防災計画で定められてきた内容が阪神・淡路大震災の際に役立たなかつたとする指摘が各方面から出されたことに着目して問題点を整理している。この中で被害想定について、想定される被害程度が示されておらず、都道府県レベルのものでも精度が粗く、市町村レベルに適用するには適切でないとしている。また、予防対策実施の優先順位や目標水準が明確でないことも指摘している。要は、現状では地域防災計画の作成には、各種インフラを管理する組織の技術職の関与はほとんどないままに、防災部署の事務職が既往の事例を参考に観念的に被害率などを想定しているものと推察される。本来の被害想定結果を事前の予防対策に反映させるためには、対象となる建物やインフラ諸施設やこれらの周辺地盤の挙動を力学的、物理的方法によってリアリティのある挙動の予測した結果に基づくものでなければならない。

力学的、物理的に適切な被害想定を行うには、つぎの二つのシナリオを考える必要がある。一つは当該施設の設計時点での基準と震災対策計画時点での技術水準とのギャップが被害を生じさせる原因であるとする考え方、二つ目はとそのギャップが無くても想定する地震の際に各種インフラ施設が存在する地点での地震動の強さの推定の際の不確定性や、当該構造物や周辺地盤の強さなどの

不確定性の存在によって安全性が想定よりも低くなつて被害が生じるとする考え方である。

一般に、前者については、地域防災計画での想定地震と各種インフラ施設での耐震基準で規定された地震動の条件とは整合していないのが現状である。一方でインフラ施設の管理者サイドでは、耐震基準を遵守した整備や補強をしているのに、なぜ被害想定しなければならないのかという疑問が常にあるように感じられる。後者については、不確定性の高い地震動が作用した場合の建物や各種インフラ施設の構造物の挙動も不確定的になることへの対応である。

このような課題の解決には、阪神・淡路大震災の後で土木学会の耐震基準等に関する基本問題検討会議が起草した「土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言」³³⁾で指摘したインフラ施設に対して適用する「地震災害アセスメント制度」の導入を図ることが有効と考えられる。この制度は5～10年ごとに、その時点での地震工学や関連工学や技術の水準を踏まえた最新の評価・診断手法により、高度な能力と豊かな経験を有する専門技術者が想定地震の諸元や地震動のハザードの不確定性を考慮した解析、設定を行って、都市や地域の建物や各種インフラ施設に対する耐震性の評価や被災状況や復旧過程の想定を行うものである。それらの結果を震災対策計画の被害想定に反映し、上記3番目の課題cで指摘した社会的合意形成のプロセスを通して、震前の補強による予防対策のみならず震後対策に有効な施策として防災・減災のための事業を計画的に推進する上で有効な手段となりうるものと考えられる。この制度はまた、人命確保のための避難方策、住民への教育・啓蒙等の事業を戦略的に推進するためにも有効な施策となるものと期待される。

図13には各種インフラ施設の地震災害軽減のサイクルを示す。

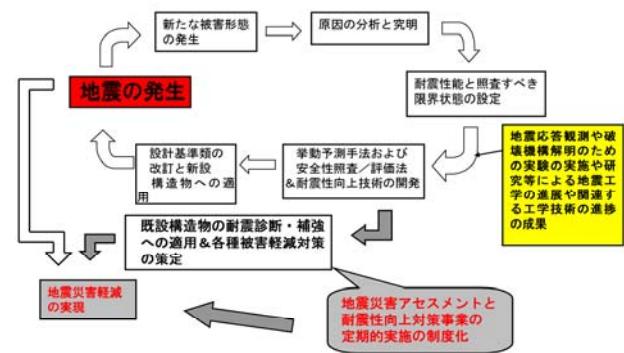


図13 地震被害軽減のサイクル

この図からわかるように地震工学や耐震技術の進展をタイムリーに取り入れた地震災害アセスメントを定期的に実行して行くことで現在、供用中の施設に対して耐震性能を向上させるのに有効な手段と考えられる。

さて、ここで忘れてならない重大な課題である**ii**の“想定外”的現象が生じた場合の対応について考えてみよう。

防災計画を作成する国や地方公共団体の立場としては、これまでには、想定外の事象が発生したことを考えたくないし、対処できないことは計画に書きたくないというスタンスであったことは否めないところであろう。想定外のことを触れたり、考えたりすること自体、“背徳的”だという意識、特に、原子力発電所の安全性についてはそのような意識があったように感じられる。もちろん、その背景には財源難や必要人員の確保が困難な事情もあったものと考えられる。

しかしながら、今回の大震災で明らかになったことは、想定外の事象が起きても、国民の生命は救わなければならぬということであり、そのためのハード、ソフトの施策を戦略的、計画的に実行することが急務の課題に浮かび上がったのである。“想定外”を対処できないことの理由や言い訳にはできないことを防災担当者はあらためて認識しなければならない。

また、このことと関連して国、地方公共団体における防災対策のプロフェッショナル～専門家の存在が巨大地震に対する防災や減災にとって不可欠なことを指摘したい。現状では、たまたま運が悪い職員が大災害に遭遇して、防災担当者としての責務を担うという状況になっているのかもしれない。この点についても上記の土木学会の「**土木構造物の耐震基準等に関する第二次提言**」の中で、国や地方公共団体において“防災専門家を養成すべきこと”が謳われている。あらためて、国や都道府県において、真剣かつ具体的にその組織体制に関する検討を進め、速やかに対処方策を推進すべきである。

そもそも“想定外”とは一体、何を意味するものなのであろうか。今回の大震災の誘因となったM9.0の「東北地方太平洋沖地震」の強さはレベル2 地震動なのか。それよりも超えた想定外の巨大地震の地震動なのか。津波はどうだったのか。筆者の感覚では、地震の規模 M9.0 は再現期間 1,000 年以上の地震であったとしても、地震動は加速度応答スペクトル曲線の分布をみてもレベル2相当と考えて然るべき程度であったと考えている。問

題は津波の大きさであり、これについてはすでに上記の通りである。いずれにせよ、今後の震災対策計画を定めるには、地震動の予測の不確定性も考慮した「想定外」の概念規定を明確にすることが必要である。

ちなみに、去る3月23日付で、**土木学会、地盤工学会**そして**都市計画学会**の各会長が共同で「今回の震災は、古今未曾有であり、想定外と言われる。われわれが想定外という言葉を使うとき、専門家としての言い訳や弁解であってはならない。このような巨大地震に対しては、先人がなされたように、自然の脅威に畏れの念を持ち、ハード(防災施設)のみならずソフトも組み合わせた対応が重要であることを、あらためて確認すべきである。」との緊急声明を公表している。このような考え方を専門家は念頭において最悪のシナリオに対してもハード、ソフト両面からなる効果的な対策を組みあわせること、そして想定されるハザードの大きさに応じ、「公助」、「共助」、「自助」の概念とそれらに応じた対策の仕分けをおこなって、広く地域住民や企業関係者の理解と協力を求めていく必要がある。

(3) 被災地の復興計画や事業の展開

震後三か月が過ぎた現在、なかなか被災地の復興が思うような進捗を遂げていない。これには津波により行方不明となった方々がまだ8千名近くも残っていることや瓦礫の処理が陸上や海底で難渋をきわめていることが大きいものと考えられている。

このような状況で、国土交通省では都市・地域整備局発注で津波被災地の復興手法調査業務40件あまりが5月末にプロポーザル方式で発注された。これら業務の目的は対象の津波被災地域について、①被災状況等の調査、分析を行い、その成果を地方公共団体に提供するとともに、復興計画の具体化に応じて国に求められることが想定される技術的助言等に即応できるよう、②被災状況や都市の特性、地元の意向等に応じた市街地復興のパターンを分析し、③これに対応する復興手法等について調査・検討を行うものである。

ここで重要な要因の一つに復興計画に関する土地利用の制限の問題がある。宮城県では1933年の昭和三陸津波の教訓を生かした独自条例（規則）を制定し、津波による浸水が予想される沿岸部の住宅建築を原則禁止するという罰則付きの厳しい内容を定めた³⁴⁾。同年の県公報によると、正式名称は「海嘯罹災地(かいしょうりさいち)建築取締規則」であり、昭和三陸津波の発生から約3カ月後

の6月30日に公布、施行されたようである。これにより津波で被災する恐れがある地域内では、知事の認可なく住宅を建築することを禁止され、工場や倉庫を建てる場合は「**非住家 コニスンデハ、キケンデス**」の表示を義務付け、違反者は拘留か科料に処せられるとある。県私学文書課によると、この取締規則は現在、存在しないが、廃止された記録もない。1950年の建築基準法施行後、市町村が災害危険区域を指定し、住宅建築を制限できるようになり、役割を終えたものと思われる。

この他、国レベルでは内務省大臣官房都市計画課から1934年3月に提出された「**三陸津波による被害町村の復興計画報告書**」の内容も興味深い³⁵⁾。その序文には「(前略) 永久に浪災を防御し、又は之を避けるべき安住の地を築設し、以て生活の安定と便益を確保する(中略) 務めて姑息なる施設を避け(後略)」と記述されている。

本文には「**津波防護対策**」として、津波の波高が高く、その破壊力も大きくなるリアス式海岸の奥の限られた平坦部しかないようなところでは、「いかなる工作物を設けるとも津波防護の対策とはならぬ。部落移転を敢行する外に方法が無い。所謂浸水型の地方に就いては津波防護の方法が考えられる。」「(津波災害を) 忍びて、単なる日常生活の多少の不便を忍びえざる筈はない。」として、部落の高地移転を推奨している。この他、敷地の地上げ、防浪堤、防浪建築、街路の整備、埋立て及び護岸、避難道路、防潮林、防波堤の整備を提倡している。

市計画や復興事業については、「漁農聚楽、必ずしも海岸に密接して居住するを必要とせず・・・部落敷地を高地に移転するは他のいかなる防浪対策より勝れるものなり。」とか「高地移転を行い得る部落に在りては・・・建築禁止区域の設定も止むを得ざる方策・・・」などといった表現もある。

このように1933年の昭和三陸津波の後で宮城県や国が示した上記の施策は、少なくとも現在でも通用する考え方であることには間違の無いところではある。しかしながら、21世紀の今、往時とは格段の文明が進展している中、これらの78年前の対策の内容と水準で良しとするのか、真摯に考えるべきではなかろうか。たとえば、

- 沖合の海底に設けた津波波高観測計測システムを活用した早期津波情報検知システムの開発とその住民避難情報伝達システムへの利用
- 携帯電話などの情報通信ツールを用いた避難情報の伝達
- 避難への自動車の活用とそのための道路拡幅

や線形の改良

➤ 沿岸部に築造する鉄筋コンクリート造の人工地盤により嵩上げした避難地や事業用地の確保

などが考えられよう。いずれにせよ後背地域を含む被災地の地形条件や産業構造、当該地域の就労人口や通勤地域なども踏まえた将来の地域産業の振興策とも一体となった本格的復興計画の策定が期待される。当然ながら三陸縦貫自動車道や国道45号そして鉄道の復旧計画との整合も視野に入れた地域の発展に有効な計画としなければならない。また、三陸地域の特色を生かした産業、特に第一次産業である漁業、水産業の振興策として、被災地の人口動態、特に就労可能人口の将来推計結果も踏まえ、これまでの個人が主体となって事業展開する形態に代わって新たな事業会社の設立・運営も考慮すべきであろう。その場合にはPPPの仕組みを活用した効率的かつ高付加価値な企業の創成といった観点からの新たな取り組みについても積極的に検討し、地域住民間の合意形成も含めて推進方を図っていくことが望まれる。

6. まとめ

以上、東日本大震災がもたらしたものと題して、被害の概要と特徴、教訓と課題そしてこれから対処方策について、一通り概観してきた。その結果、次のように要約することができる。

- ① 今回の大地震はM9.0の巨大地震とそれによってひき起こされた巨大津波、そして原子力発電所の被害と事故の発生からなる世界でも未曾有の複合災害といえよう。中でも、津波による被害が甚大であった。なお、M9.0の巨大地震にしては、地震動の卓越周期が0.2~0.3秒と建物や橋が揺れやすい周期に比べて1/4~1/5と短かったため、それら構造物の被災が著しくなかったことは不幸中の幸いであった。
- ② 特に本州北部の青森県沖から千葉県沖まで襲來した津波の猛威は凄まじく、およそ2万名を超える死者・行方不明者を生じさせた。
- ③ 復旧に当たって国道のライフラインとして機能は震後、比較的早く回復できたものの、津波被災地での行方不明者の捜索もあって、瓦礫の処理が大幅に遅れることになり被災地の復興に大きな支障となっている。つぎの巨大地震の発生に間に合うように今回の震災の教訓として合理的な瓦礫処理に関する効率的な行政システムの確立を講じることが必要である。

- ④高度に文明化したわが国社会において、震災の様相は複雑、多岐にわたり、災害拡大のポテンシャルはきわめて大きくなっていることに留意しなければならない。このため社会インフラ単独ばかりでなく異なるインフラシステム相互間での連鎖を考えた冗長性の高いトータルの防災・減災が可能なネットワーク・システムを構築することが求められる。
- ⑤今回の地震動はM9.0というきわめて大きな地震エネルギーの発露であり、震源から遠く離れた千葉県や神奈川県の東京湾沿岸部で主要動の継続時間が長く続いたことや、その繰り返し回数が多かったため、埋め立て地やゆるい砂質地盤の液状化が各所で生じ上・下水道施設や住居に甚大な被害を生じさせた。
- ⑥巨大津波への防災・減災対策や被災地の復興を進める上で必要となる津波の規模と対策の目標水準の考え方方が、阪神・淡路大震災以降に確立した土木構造物の耐震性能照査に対して適用する二段階の地震動のレベル、すなわち、レベル1、レベル2と同じような二段階の概念で規定される方向が打ち出されつつある。
- ⑦わが国の最近の地震の活動状況は戦後半世紀に及ぶ静穏期を経て、20世紀末、1995年に発生した兵庫県南部地震を契機に活発となり、今世紀に入り、今回の巨大地震の発生をもって、いよいよ本格的な大地動乱の時代に入ったようである。今後は西南日本及び関東南部から房総沖でのプレート境界で発生する巨大地震をはじめとして、首都圏直下地震や内陸の活断層タイプの直下型地震が頻発する可能性が高くなることを覚悟すべきである。また、東海地震や東南海地震の発生と富士山の噴火との相関性も指摘されており、これらが前後して発生する最悪のシナリオについても考えておくことが望ましい。
- ⑧このようなリスクに備えるためにも国の震災対策を司る法体系や組織の再編が急務の課題であり、中央防災会議等での震災対策計画に関する戦略的、建設的な建議が求められるところである。今回の大震災の教訓を糧に「東海・東南海・南海地震」や「首都圏直下地震」などへの備えを速やかに着手すべきである。
- ⑨特に津波被災地の復興には、高規格道路や鉄道など基幹インフラの計画と整合させた土地利用に関する新たなアイデアの創出や今後の人口減少の動向も踏まえた将来に希望の持て

る、これまでの地域産業や生活基盤の枠組みにとらわれない新たな事業展開の枠組みの構築や、情報化の進展に伴う新たなコミュニティの創成などの将来に向けた視点で住民の地域復興の機運を高めて推進して行くことが必要である。

7. あとがき

あらためて東日本大震災の様相をみつめると、津波による影響の甚大さに圧倒させられた。また液状化の発生による被害も著しかったことが強く印象に残った。

ここに、大震災で亡くなられた多くの犠牲者のご冥福と被災地域の速やかな復興、被災者の方々のご健康を心からお祈り申し上げる。

本文を執筆するに当たり、保全・耐震・防災事業部の森副事業部長、同事業部東京支社の田中保全・耐震・防災部長、同総合防災・保全チームの三村PMほかの各位に貴重なご支援と情報提供をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

なお、原子力発電所の被害と事故については筆者の専門外でもあり、本文では深く言及することは避けさせていただいた。ただ、世界でも初めての原子力発電所災害でもあり、わが国のみならず世界各国の電力・エネルギー政策に重大かつ深刻な影響を及ぼしたことは間違いない。今回の一連の事象を重大な教訓にして、原子力発電に係わる方々に再発の防止と安全性、信頼性の更なる向上を期していただくための格段のご尽力、ご努力を祈念して筆をおくこととする。

引用文献

- 1) 日経サイエンス 2011.6月号
- 2) 国立天文台編、理科年表、平成23年版、丸善㈱
- 3) 平田 直:マグニチュード9.0の衝撃、科学、vol.81 No.5、2011年5月号
- 4) Newton 2011年6月号
- 5) 気象庁: 内陸及び沿岸で発生した主な地震の余震回数比較 (マグニチュード4.0以上), 「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震」の特集,
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2008_06_14_iwate-miyagi/yoshin_hikaku.pdf, 2008年8月
- 6) 防災科学技術研究所 K-NET 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による強震動についての特集ページ

- http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/ht
ml20110311144626/main_20110311144626.html
- 7) 日経コンストラクション 2011.5.9 号
 - 8) 岡田義光 : 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴
った地殻変動と誘發現象、科学、vol.81 No.5、
2011 年 5 月号
 - 9) 土木学会 東日本大震災特別委員会津波特
定テーマ委員会報告会 6 月 13 日資料
 - 10) 宮城県南三陸町 HP
 - 11) 警察庁 HP : 2011 年 5 月 24 日 現在の被害集
計に基づき、一部改編
 - 12) 土木学会 HP : ライフライン復旧概況(時系列
編)、岐阜大学 能島教授作成
 - 13) 気象庁 HP :
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/aftershock/
 - 14) 国土交通省社会資本整備審議会計画部会道
路分科会第 13 回分科会 東日本大震災の対
応と課題 2011 年 5 月 23 日
 - 15) 高橋浩一郎 : 災害論 一天災から人災へ一、
東京堂出版、pp11、1977 年 5 月
 - 16) 佐伯光昭 : 展望 地震災害軽減方策のあるべ
き姿と今後の課題、土木学会論文集、No.658
／VI-48、pp1-18、2000 年 9 月
 - 17) 宇佐美龍夫 : 最新版 日本被害地震総覧[416]
－2001、東京大学出版会、2003
 - 18) 寺田寅彦 : 天災と国防 (初出 : 昭和 9 年 11
月 経済往来), ワイド版岩波文庫 102, 寺田
寅彦隨筆集, 第 5 卷 小宮豊隆編, 1993.6
 - 19) 鎌田浩毅 : 今そこにある富士山噴火・東海・
西日本大地震、文芸春秋、株式会社文芸春秋、
2011 年 7 月号
 - 20) IAEA, "PRELIMINARY FINDINGS AND
LESSONS LEARNED FROM THE 16 JULY
2007 EARTHQUAKE AT
KASHIWAZAKI-KARIWA NPP" REPORT TO
THE GOVERNMENT OF JAPAN, 2007
http://www.iaea.org/newscenter/news/2007/kashiwazaki-kariwa_report.html
 - 21) 外岡英俊 : 地震と社会 「阪神大震災」記,
上巻, みすず書房, 1997.11.
 - 22) 寒川 旭 : 地震の歴史を活かした災害対策を、
中央公論、 2011 年 6 月号、pp36~45
 - 23) 片山恒雄 : 東京大地震は必ず起きる、文春新
書 280、2002 年 10 月
 - 24) 内閣府 HP
 - 25) 土木学会 耐震基準等に関する基本問題検
討会議 : 耐震基準等に関する第一次提言、
1995 年 5 月
 - 26) 國土交通省港湾局 : 釜石港における津波によ
る被災過程を検証、2011 年 4 月 1 日、
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000019.html
 - 27) 土木学会 土木構造物の耐震設計法に關す
る特別委員会 : 耐震設計等に関する第三次提言、
2000 年 10 月
 - 28) 佐伯光昭 : 改めて社会資本とその「無駄」を考
える 一防災・減災の立場から一、橋梁と基礎、
2011 年 1 月号
 - 29) Diemer, D.M.: ANTI-SEISMIC MEASURES ON
WATER SUPPLY IN CALIFORNIA, Proc.of
Water & Earthquake '98 Tokyo, IWSA
International Workshop, 1998.11
 - 30) 井野盛夫 : 抗震 東海地震へのアプローチ,
pp.95-99, 静岡新聞社, 2000.2.
 - 31) ブルース・A・ボルト著, 松田時彦・渡邊ト
キエ訳 : 地震, pp.292, 古今書院, 1995.3.
 - 32) 京都大学防災研究所編 : 地震防災計画の実務,
第 2 章 地域防災計画の現状と問題点,
pp.9-36, 1997.4.
 - 33) 土木学会 耐震基準等に関する基本問題検
討会議 : 耐震基準等に関する第二次提言、
1996 年 1 月
 - 34) www.47news.jp/CN/201104/CN2011040601000544.html
 - 35) 家田 仁 : 東日本大震災の復旧・復興に向
けで東日本大震災をどう見るか～地域基盤の
総合的フェイルセーフ化に向けて～、一般社
団法人流域水管理研究所主催 第 1 回緊急特
別講演会、2011 年 5 月 11 日、ppt 資料

東北地方太平洋沖地震の概要(地震と地震動)

株式会社エイト日本技術開発

保全・耐震・防災事業部

東京支社 保全・耐震・防災部

末富岩雄・福島康宏

1. はじめに

2011年3月11日14時46分頃、三陸沖から茨城県沖に及ぶ巨大地震が発生した。気象庁により、「2011年東北地方太平洋沖地震」と命名され、政府は災害名称として、「東日本大震災」と呼んでいる。

気象庁による地震の規模(M)は、発生直後は7.9、16時の報道発表第1報で8.4、17時30分の第3報で8.8、3月13日12時55分の第15報で9.0と少しづつ大きく修正されている。発震機構は、西北西—東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、プレート境界で発生した地震である¹⁾。

宮城県栗原市築館で震度7が観測されるなど、東北から関東地方の多くで震度5以上の強い揺れが観測された。

2. 過去の地震と想定地震

三陸地区では、過去に何度も津波に見舞われ、多くの犠牲を払ってきた。そのため、堤防などハード面の対策、避難訓練などソフト面の対策、において国内でも最も精力的に取り組んできた地域である。岩手県では三陸地震、宮城県では宮城県沖地震、福島県・茨城県では福島県沖及び塙屋崎沖地震を、津波を伴う海溝型地震として想定しているが、今回の地震は、これらの想定地震が同時に起きたことに相当する。以下に、過去の地震の概要を記す。

2.1 明治三陸地震

1896年6月15日20時頃、三陸沖約200kmで発生した地震(M=8.5)で、揺れは強くなく震度3程度であった。死者は約22,000人に及び、その多くが岩手県内である²⁾。死者数は今回と同程度であるが、当時は現在より人口が少なく、吉浜村で人口の約9割が亡くなるなど、犠牲者の比率は今回より高い。

2.2 昭和三陸地震

1933年3月3日2時半頃に発生した地震(M=8.1)で、揺れはやや強く震度5程度であった²⁾。深夜ではあったが、揺れが強かったので、多くの人は

目を覚ましている³⁾。死者は約3,000人と明治の際よりは大幅に減少している。津波の高さが7~8割程度とやや小さかったこともあるが、まだ明治の際の記憶が焼きついており、速やかに避難行動をとった人々が多かったものと推察される。

この後、1960年チリ地震、2011年チリ地震があるが、今回とは条件が異なるので省略する。ただし、人々の津波に対する意識に影響した可能性はある。

2.3 貞観の地震

東北地方で地震の記録が残るのは、江戸幕府が開かれる17世紀以降である。ただし、869(貞観11)年の地震については、大津波により広い範囲で被害が生じたことが記録に残っている²⁾。

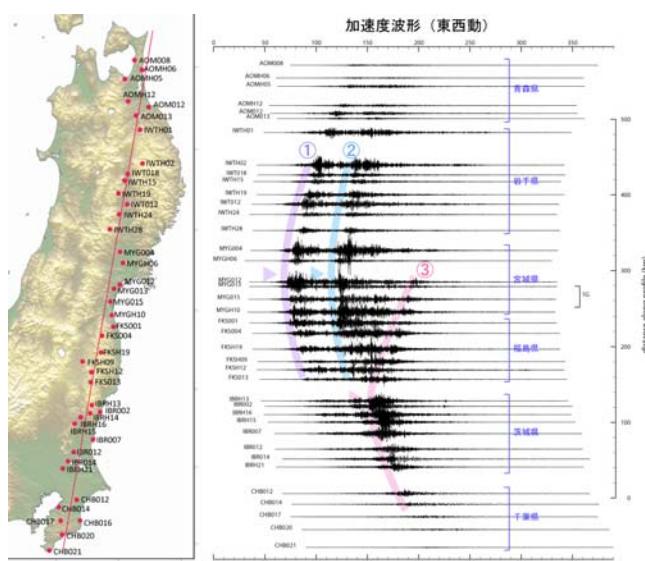
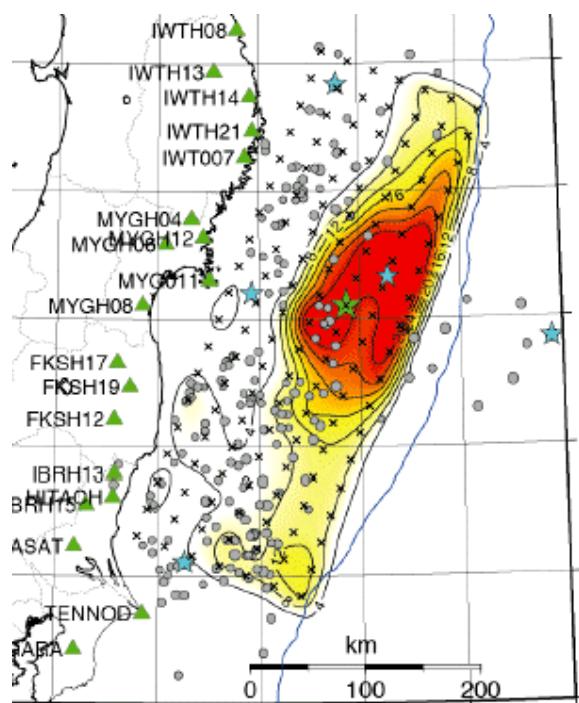
最近になって、石巻平野・仙台平野でジオスライサーを用いた地盤調査により、津波堆積物の分布が面的に明らかになってきた⁴⁾。再現期間も600~1300年と推定されている(さらに前の3回の痕跡も発見)。津波シミュレーションにより、想定宮城県沖地震よりもはるかに大きい地震があったのではと、その地震像が明らかになってきていた。ただし、それは、この数年のことである。

なお、1611(慶長16)年にも、大きな地震があり、三陸地震や宮城県沖地震よりも広い範囲での地震であった可能性が高いが、詳しいことはまだ明らかでない。

3. 断層の破壊過程

今回のように断層域が広大になると、観測波形を時刻を合わせて並べるだけでも、およその様子は把握できる。図1は、東京大学地震研究所によるもの⁵⁾で、防災科学研究所によるK-NET、KiK-netの波形を太平洋岸に沿って南北に並べたものである。

最初の大きな断層破壊は宮城県沖で起きている(最初に大きく揺れている、図中の紫色の線)。その後、数十秒後に宮城県沖で大きな断層破壊が再び起きて同様に伝播している(水色)。そして、三つ目の断層破壊が茨城県北部の、陸に近い沖合で起き

図 1 加速度波形と断層破壊の関係⁵⁾図 2 断層面上のすべり分布の推定例
(気象庁気象研究所による¹⁾)

たと考えられる（赤色）。

東北地区では2つの波群が見えるのは①②に対応し、首都圏では長くコトコト揺れた後に大きく揺れたのは、①②は遠く③が主となったものである。図2は波形を用いて震源インバージョンにより断層上のすべり分布を推定した例¹⁾である。図1の内容と概ね対応している。

4. 震度分布の推定

被害と地震動の大きさの関係を検討する上では、被害地点で地震記録が得られるわけではないので、

地震動分布が必要となる。本章では、観測記録の補間により250mメッシュ単位での評価を行う。

(1) 地震観測記録

波形データが公開されている防災科学技術研究所K-NET及びKiK-net⁶⁾、港湾地域強震観測⁷⁾、気象庁⁸⁾、横浜市高密度強震計ネットワーク⁹⁾のデータから計測震度、SI値等の地震動指標を算出する。補間推定には、K-NET278点、KiK-net166点、気象庁36点、港湾13点、横浜市86点の値を用いる。

(2) 地盤条件

末富ら¹⁰⁾で実施したように防災科学技術研究所の地震ハザードステーション¹¹⁾から公開されている若松らによる250mメッシュの地形分類及びAVS30（深さ30mまでの平均S波速度）を用いる。増幅度評価も、末富ら¹⁰⁾による非線形モデルを用いる。

(3) 推定結果

末富・福島¹²⁾では、IDW法（距離の重み）による補間推定を行った。この場合、やや特定の観測値の影響が強かった（局所的な要因と思われるのに対し、広域で大きくなっていた）。そこで、図3に示すように、今回の観測値を用いて、断層からの最短距離xのみをパラメータとする距離減衰式を回帰分析により構築する。○で示した観測値は、(2)の250mメッシュでのAVS30を用いて、工学的基盤（Vs=600m/s相当）に引き戻した値である。赤線で示した定数項を入れた式の方がより観測値への適合性がよいので、これを採用する。log内の定数項の値は一義的に決まらないので、既往の距離減衰式を踏まえ、ここでは50としている。この式をトレンド成分として、Kriging法により推定した計測震度分布を図4に示す（プログラムRASMO使用¹³⁾、最大加速度、SI値、最大速度についても同様に算出している）。海岸付近で大きい他、内陸の低地部で大きくなっている（文献12）より、改善されていると考えられる。

5. 余震と誘発地震の影響

M=9.0の巨大地震なので余震でもMが7を越えるものが多発している（図5）。また、余震域から推定される断層面とは全く異なる箇所での地震

（誘発地震）も多く、翌日未明に発生した地震では、栄村付近に大きな被害をもたらし、3/15の地震では静岡県で大きな揺れが観測された。

5.1 30分後の余震

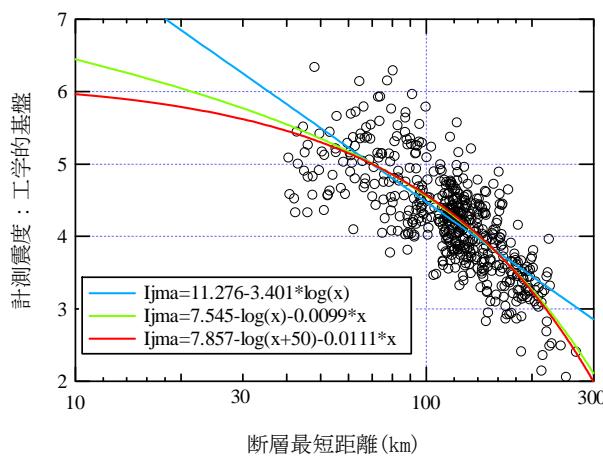


図3 計測震度の距離減衰

(○: 地表での観測値を工学的基盤に引き戻した値)

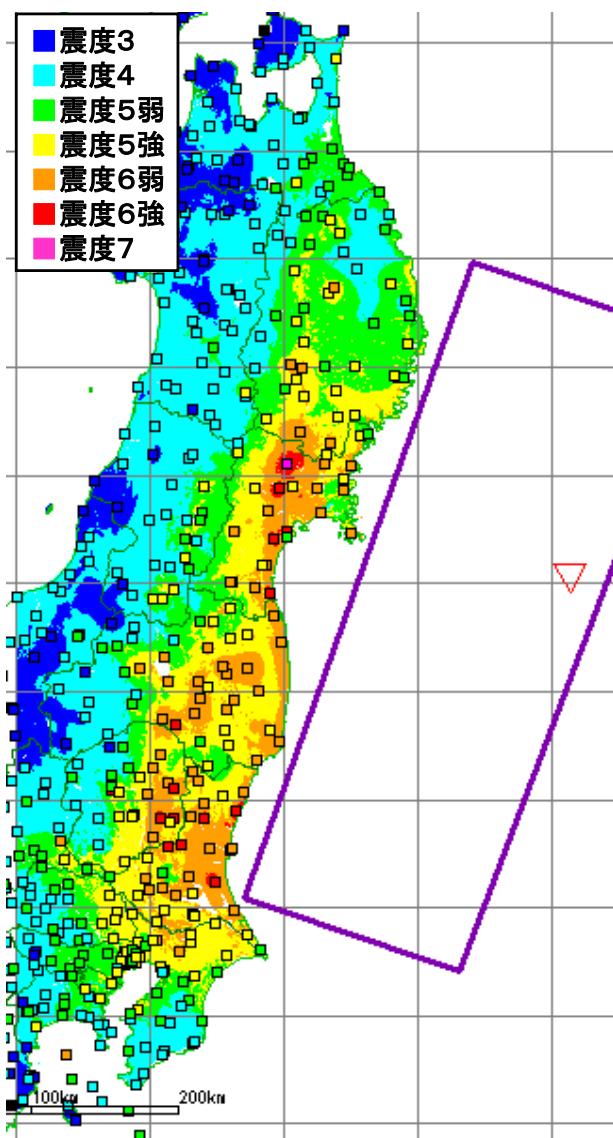


図4 計測震度の250m メッシュ推定分布

(▽: 震源、□: 推定断層、■: 観測値)

茨城県沖でM=7.7の地震が、本震から約30分後に発生している。いくつかの目撃証言として、本震で噴砂現象が生じていたところ、この余震によ

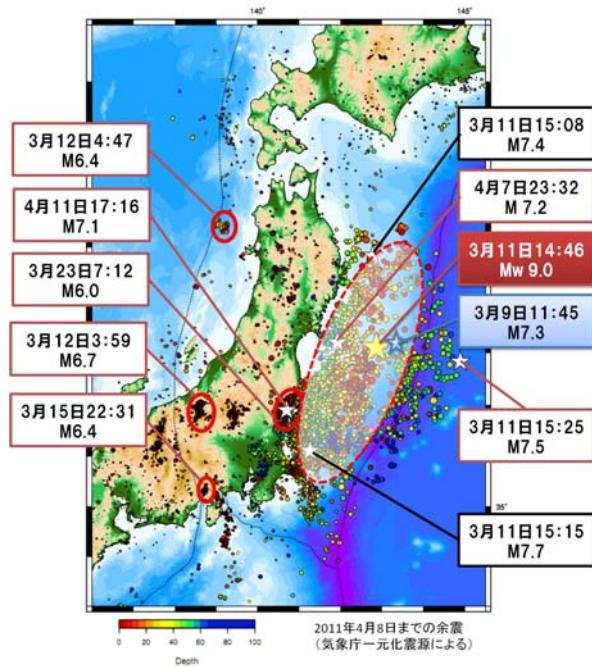


図5 主な余震・誘発地震の位置

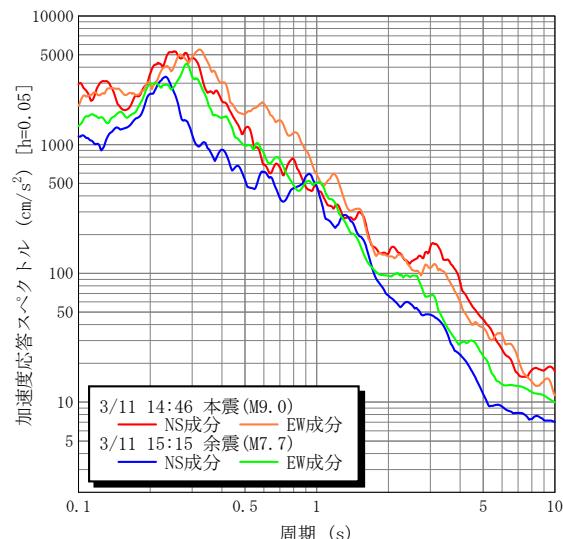
(東京大学地震研究所⁵⁾による)

図6 K-NET 銚子における加速度応答スペクトル

り強く噴出したとある。

K-NET 銚子 (IBR013) における加速度応答スペクトル (減衰 5%) を図6に示す。ほぼ本震に匹敵する大きさである。

5.2 4月7日の余震

4月7日23時32分頃に宮城県沖の深さ約65kmでM=7.1の地震が発生し、宮城県で最大震度6強を観測した(図7)。

発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、震源が深いこと、余震分布が南東傾斜であることから、プレート境界の地震ではなく、太平洋プレート内で発生した地震とされて

いる（図8）¹⁾。

この地震では、東北電力管内で最大 4,006,382 戸と大規模な停電が発生した¹⁴⁾（ほぼ東北全体の 7 割に相当）。復旧は、10 日 0 時 15 分である。原因は、原子力安全・保安院によるとスイッチの切り替えの設定ミスで保護装置が働かなかつたためである¹⁵⁾。また、東北自動車道では、平泉前沢 SA 付近で盛土が長さ 30m ほどにわたって崩れ、通行止めとなつた（10 日に復旧）。この付近では、住宅被害も少なくなく、10 日に応急危険度判定が実施されていた。

図9 に K-NET 北上 (IWT012)、図10 に K-NET 仙台 (MYG013) における加速度応答スペクトルを示す。周期 1 秒以下では、部分的に本震を上回る周期帯もある大きさである。

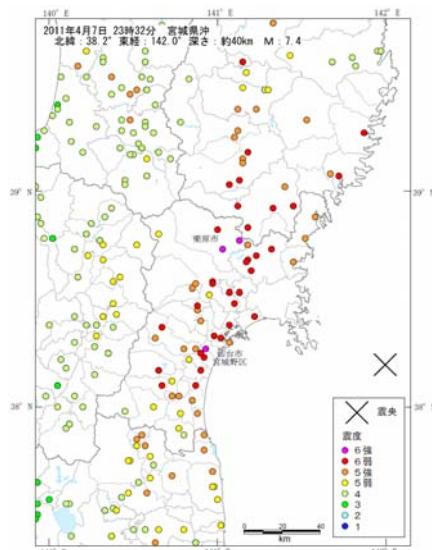


図7 震度分布（4月7日の余震）

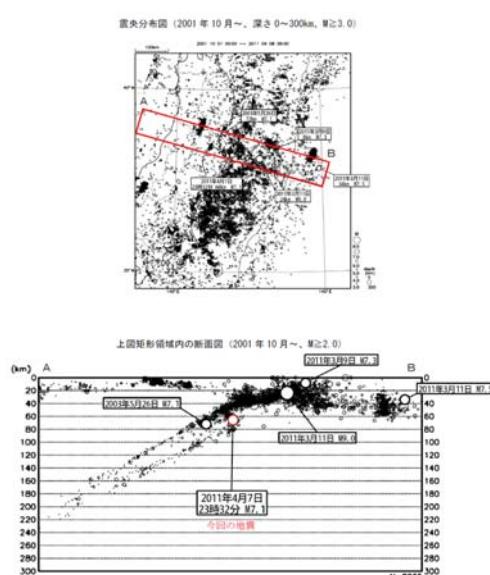


図8 余震の分布と4月7日の余震の位置

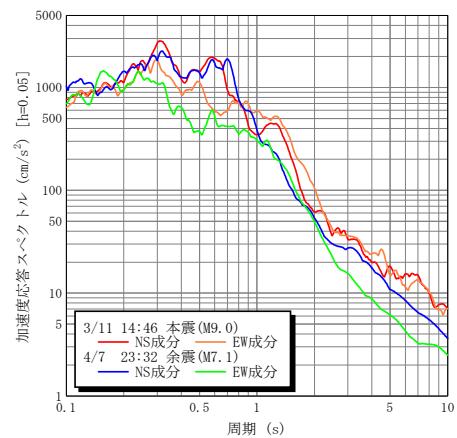


図9 K-NET 北上における加速度応答スペクトル

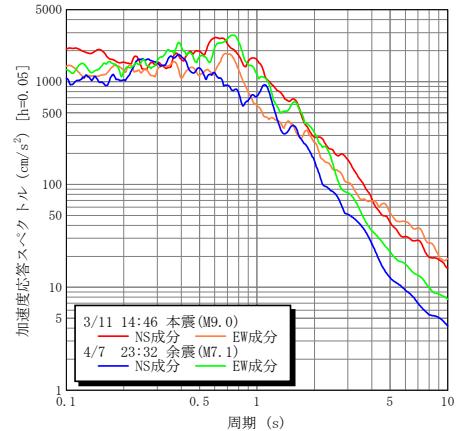


図10 K-NET 仙台における加速度応答スペクトル

5.3 4月11日の活断層による地震

4月11日17時16分頃に福島県浜通りの深さ約 6km で M=7.0 の地震が発生し、福島県と茨城県で最大震度 6 弱を観測した。

この地震の発震機構は、西南西—東北東方向に張力軸を持つ正断層型で、地殻内の浅い地震であ

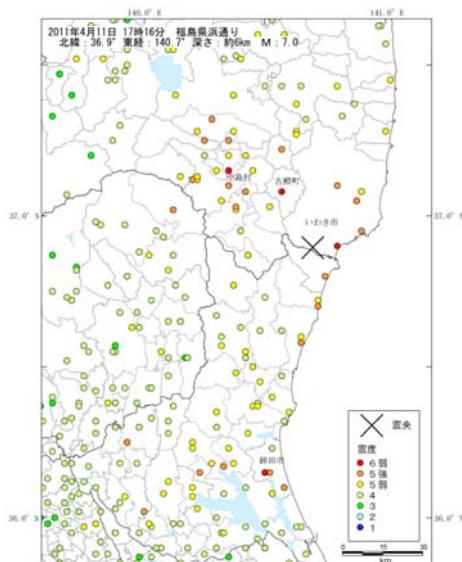


図11 震度分布（4月11日の地震）

る¹⁾。産業総合技術研究所により、断層が地表に露頭したことが報告されている¹⁶⁾。

いわき市を中心に、停電、住宅倒壊、崖崩れ、等の被害が発生した。

6. 観測地震動の特徴

6.1 周波数特性

主な観測記録の加速度応答スペクトルを重ねて図12に示す。また、1995年兵庫県南部地震や2007年新潟県中越沖地震など国内での主な強震観測記録との比較を図13に示す。いずれも、水平2成分を合成した値を示している。

既往の主な記録と比べると周期1秒以上では小さい。地震規模が巨大であることから、周期20秒辺りの通常の構造物に影響しない成分で大きいようである。K-NET 築館(MYG004)の周期0.24秒で約13,000cm/s²という極めて大きな最大加速度応

答となっている。加速度波形を図14に示す。かつ他の観測点でも、0.5秒以下の短周期成分が著しく卓越している。図15にK-NET 築館での常時微動のフーリエスペクトルを示す。4Hz(周期0.25秒)付近で卓越しており、地盤条件と関連していると考えられる。また、高さ1.5m程度駐車場位置より上に地震計があり、上では大きく增幅されていることがわかる。このような局所的条件により大きく揺れた地点と考えられ、周囲での建物被害は少ない。K-NET 日立等も、盛土上に置かれており、同様に局所的条件が影響していると考えられる。

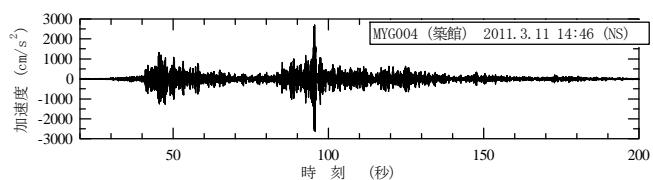


図14 K-NET 築館における観測加速度波形 (NS)

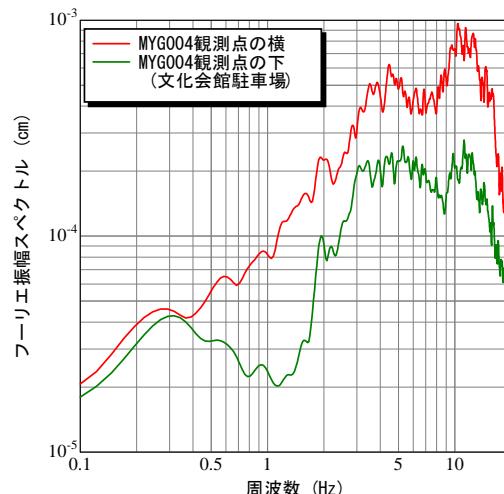


図15 常時微動のフーリエ・スペクトル

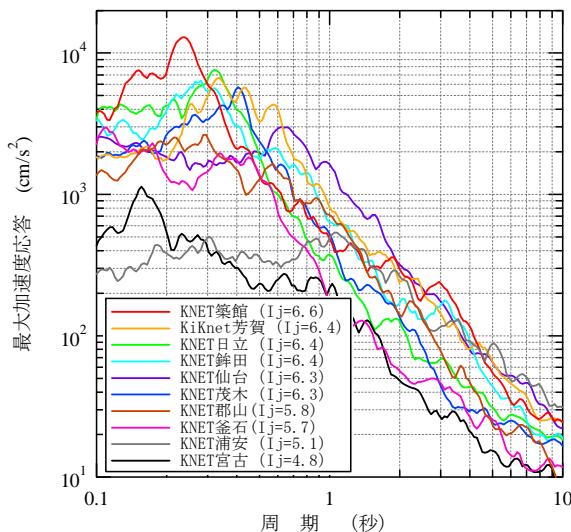


図12 観測記録の加速度応答スペクトル (減衰5%)

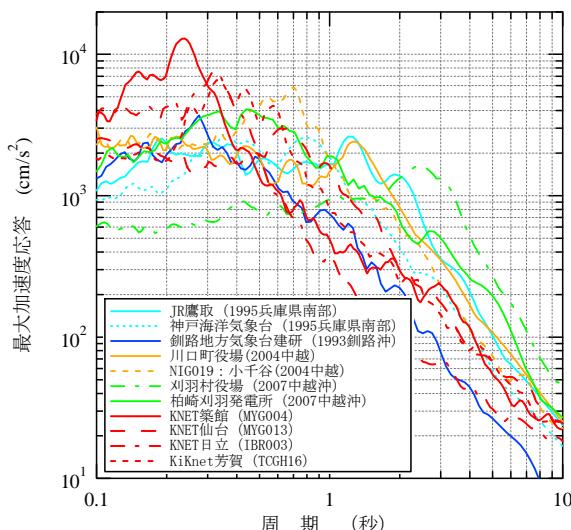


図13 既往地震の加速度応答スペクトルとの比較 (減衰5%)

6.2 継続時間

図16は、国内における主要観測加速度波形を並べたものである。縦軸は少し変えているが、横軸は合わせてある。1995年阪神淡路大震災や2004年新潟県中越地震の波形は20~30秒であるのに対し、今回の地震は120秒程度続いており、極めて長い。M=8.0で同じプレート境界型である2003年十勝沖地震と比べても1.5倍程度ある。

継続時間が長いことが、被害に影響していると考えられ、その典型例が地盤の液状化である。図17は、K-NET 稲毛(千葉市美浜区)での観測波形である。時刻120秒付近で、サイクリックモビリティにより急激に大きな加速度が現れた後、液状化に至ったと推察され、観測点敷地内では大量の噴砂が見られた。

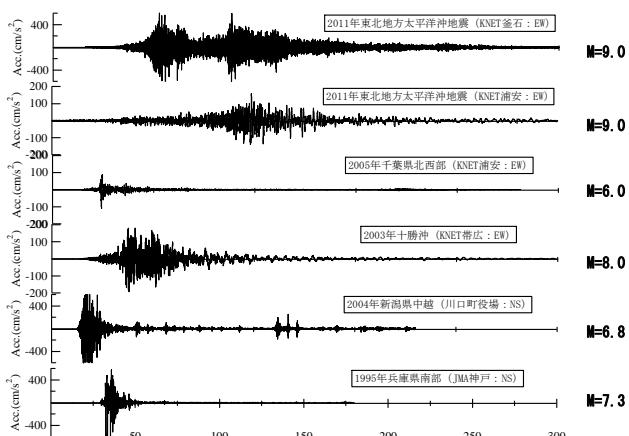


図 16 過去の地震記録との継続時間の比較

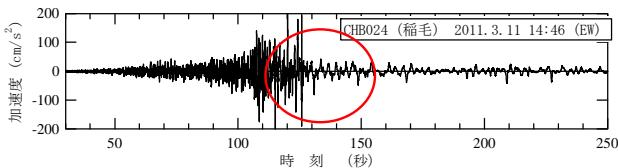
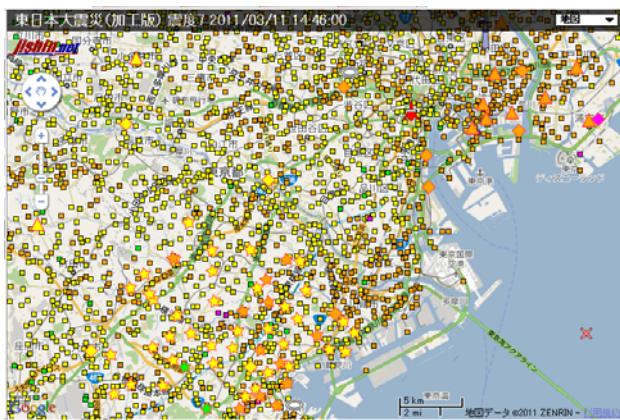


図 17 液状化地点の波形 (KNET 稲毛)

6.3 首都圏における地震動

首都圏では、東京ガス株式会社の地震防災システム SUPREME により、約 4000 点の地震観測網が構築されている。図 18 は、その観測値を収集・表示している Jishin.net (会員制) による SI 値分布図¹⁷⁾である。東日本大震災に関しては、防災科研 K-NET 及び KiK-net、国土交通省、横浜市による高密度強震観測網による記録からの値も示している。SUPREME では、50m メッシュの SI 値分布推定、液状化危険度推定、導管被害推定が地震発生から 10 分以内に行われている。

図 18 首都圏における高密度 SI 値分布
(TG 情報ネットワーク : Jishin.net¹⁷⁾ より)

今後、地震動分布の高精度化をさらに進めると共に、各種被害と地震動との関係について検討を進める予定である。本研究では、防災科学技術研

究所強震観測網、港湾地域強震観測、横浜市強震計ネットワークのデータを使用させて頂きました。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁 : 気象庁発表情報、
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-porta1.html#b>
- 2) 宇佐美龍夫 : 最新版 日本被害地震総覧 [417]-2001、東京大学出版会、2003 年
- 3) 山下文男 : 津波てんでんこ一近代日本の津波史、新日本出版社、2008 年
- 4) 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター : 貞觀地震に関する成果報告、報道等、
<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/press.html>
- 5) 東京大学地震研究所 : 2011 年 3 月東北地方太平洋沖地震、
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/
- 6) 防災科学技術研究所 強震観測網 web サイト :
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 7) 港湾地域強震観測 web サイト :
<http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm>
- 8) 気象庁 web サイト : http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohoku_kuchiho-taiheiyouki/index.html
- 9) 横浜市高密度強震計ネットワーク web サイト :
<http://www.city.yokohama.jp/me/anzen/kikikanri/eq/>
- 10) 末富岩雄・石田栄介・福島康宏 : 全国即時地震動分布推定のためのモデル構築に関する一検討、第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集 CD, PS3-Sat-23, 2010 年
- 11) 防災科学技術研究所 地震ハザードステーション : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 12) 末富岩雄・福島康宏 : 2011 年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) における地震動分布の推定、土木学会第 66 回年次学術講演会 (投稿中)
- 13) (独) 防災科学技術研究所 川崎ラボラトリ : 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト「III.1 震災総合シミュレーションシステムの開発」公開ソフトウェア、2007 年
- 14) 東北電力 web サイト :
<http://www.tohoku-epco.co.jp/index.html>
- 15) 経済産業省原子力安全・保安院 web サイト :
http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake_index.html
- 16) 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター : 平成 23 年東北地方太平洋沖地震速報、
<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/index.html>
- 17) ティージー情報ネットワーク web サイト :
<http://www.jishin.net/>